

**CONSIDERAÇÕES SOBRE DERIVA E OUTROS
FUNDAMENTOS TÉCNICOS NA APLICAÇÃO AÉREA E
TERRESTRE DE AGROTÓXICOS.**

Versão 1.0 – 27/11/2019

**Autor Eng.Agr. Eduardo Cordeiro de Araújo
eduardocorar@gmail.com**

CONTROLE DE REVISÕES

VERSÃO	DATA	DESCRIÇÃO
1.0	27/11/2019	Versão original

ÍNDICE

Conteúdo	Pág
1. Introdução	1
2. Conceitos de Deriva	1
3. Relação entre os principais parâmetros na aplicação	4
3.1. Fórmula – cálculo da Densidade de Gotas	5
3.2. Fórmula para cálculo da Taxa de Aplicação	6
3.3. Fórmula para cálculo do Diâmetro de Gota	7
4. Deriva sob controle	7
4.1. Deriva primária e deriva secundária	8
4.1.1. Deriva Primária	8
4.1.2. Deriva Secundária	8
5. Evaporação	9
6. Recomendações adicionais	12
Figura – Deriva estimada para 3 diâmetros de gota	13
7. Estimativa prévia da distância de deriva - cálculos	13
Figura - Exemplo de representação gráfica dos cálculos de deriva	16
8. Pulverizadores aéreos e terrestres	18
8.1. Controlando o diâmetro das gotas	18
8.1.1. Nos bicos hidráulicos	18
8.1.2. Nos bicos ajustáveis	19
8.1.3. Nos atomizadores rotativos	19
9. Espectro de gotas	20
Tabela – Divisão de uma população de gotas por classes de diâmetro	22
10. Fórmula para cálculo do VMD	22
11. Amplitude Relativa	23
12. Deriva nas aplicações aéreas e terrestres – Esclarecimentos	24
Figura -Aviões agrícolas – alguns modelos	25
12.1 Equipamentos para aplicação aérea de líquidos	26
13. Aplicação Terrestre	26
13.1. Pulverizadores Costais	26
13.1.1. Pulverizador costal manual	26
13.1.2. Pulverizador costal motorizado	27
13.2. Pulverizadores de barras “3 pontos” e Tracionado	28
13.3. Pulverizador tipo “canhão”	29
13.4. Pulverizadores Axiais	29
13.5. Pulverizadores auto-propelidos	30
Figuras - Deriva nas aplicações terrestres	31
14. Conclusões	31
15. “AgDrift”, uma ferramenta útil para simulação da deposição e da deriva	32
Referências	33
Apêndices – Exemplos de escolha do equipamento em função das gotas desejadas	34
Apêndice I – Bicos hidráulicos	34
Apêndice II – Atomizadores rotativos “Micronair AU-5000”	35
Apêndice III – Bicos “CP-03”	36
Apêndice IV – Tabela de velocidade de sedimentação de gotas de água	37

CONSIDERAÇÕES SOBRE DERIVA E OUTROS FUNDAMENTOS TÉCNICOS NA APLICAÇÃO AÉREA E TERRESTRE DE AGROTÓXICOS.¹

1. INTRODUÇÃO

Embora disseminada, é equivocada a crença de que a aplicação de agrotóxicos feita por avião sempre produz muito mais deriva do que os “pulverizadores terrestres” e que a deriva nas aplicações aéreas não pode ser controlada. Estes são mitos que devem ser desconstruídos..

NOTAS:

1. Todos os cálculos e demonstrativos apresentados neste documento têm como base o produto “água”. Os parâmetros aqui tratados são afetados, tanto nas aplicações terrestres como aéreas, quando produtos químicos são adicionados à água. Este documento tem a finalidade, apenas, de esclarecer alguns termos relacionados à Deriva e outros fatores e, principalmente, fazer uma abordagem RELATIVA entre as modalidades de aplicação aérea e terrestre.

2. Esta primeira versão (1.0) é uma versão básica, a ser aperfeiçoada / corrigida, a partir das observações, críticas e comentários de seus leitores. Tais observações serão muito bem-vindas, para serem incorporadas à versão 2.0. Tais críticas e sugestões podem ser dirigidas diretamente ao autor, pelo endereço eduardocorar@gmail.com.

2. CONCEITOS DE DERIVA

Embora esteja bastante arraigado o conceito de Deriva como sendo o produto que, desviado de seu alvo, atinge áreas inadequadas, nós consideramos Deriva como sendo o desvio de qualquer magnitude, sofrido pelas gotas, em uma pulverização, tirando-as de sua trajetória linear original, antes de depositar-se sobre o alvo, ainda que permaneçam no interior da área-alvo.

NOTA: Para todos os efeitos deste texto, o termo “ALVO”, refere-se à ÁREA em tratamento, incluindo plantas, solo entre as plantas, etc.. Em outras palavras, referimo-nos como ALVO ao módulo da cultura objeto do tratamento, limitado por suas bordas. Todo

¹ Engenheiro Agrônomo, Consultor do Sindag Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola.
eduardocorar@gmail.com

produto aplicado que se deposita na área assim limitada, consideramos como tendo “atingido o alvo”, ainda que tenha sofrido desvio de trajetória, ou seja, “tenha derivado”.

Enquanto a deriva é pequena o suficiente para ainda manter todas as gotas de uma aplicação de líquidos dentro da área em tratamento, é aqui denominada **“DERIVA ACEITÁVEL”**..

Quando, porém, ou por estar sob influência de vento, gotas muito pequenas e/ou pelo fato da distância do veículo aplicador até a borda da lavoura ser muito pequena, parte do produto aplicado pode se depositar FORA da área em tratamento,. A esta deriva denominamos **“DERIVA INACEITÁVEL”**, esta sim, **potencial causadora de perdas e contaminação ambiental...**

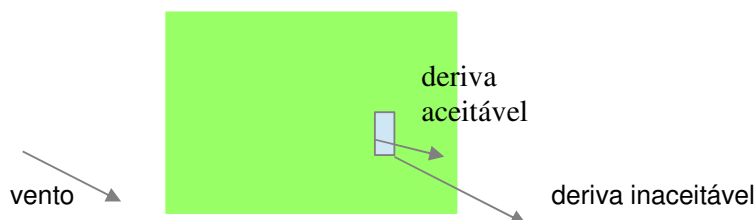


figura 1 –Deriva aceitável e deriva inaceitável

NOTA: As nomenclaturas que estamos adotando neste documento para a “Deriva Aceitável” e “Deriva Inaceitável” não são oficiais nem as mesmas utilizadas por outros autores. (HYMMEL, 1974; COMBELLACK, 1982), citados por (GANDOLFO,2018), os quais denominam ENDODERIVA (o mesmo que Deriva Endógena) a fração pulverizada que, embora atingindo a ÁREA-ALVO, não se fixa nas plantas, não atingindo, portanto, pelo menos diretamente, os alvos biológicos. E, por “deriva exógena” aquela cujas gotas foram geradas dentro da área, porém ultrapassaram seus limites e atingiram locais fora da área em tratamento

Entretanto, não nos parece adequado tratar a “Deriva endógena” como perda ou desperdício esta fração que, embora aplicado DENTRO da área em tratamento e nela permanecendo, não se fixa nas plantas e alvos biológicos, caindo ao solo. Consideram os autores tal fração do produto como perdida, com o que não concordamos. Isto porque:

- a) Muitas pragas usam o solo para se abrigar ou passar nele parte de seu ciclo evolutivo, logo o solo de uma área cultivada é parte integrante daquela unidade produtiva;
- b) O controle de pragas com agrotóxicos visa não só atingir diretamente as pragas, mas, também, criar um “ambiente tóxico” no interior da área tratada. Logo, o produto que não atinge diretamente as plantas ou as pragas, não pode ser considerado perda.

- c) Em uma aplicação de produtos que têm principalmente ou subsidiariamente ação através da absorção radicular, o agrotóxico que cai ao solo, longe de ser contabilizado como perda, é um produto ativo.

Por tais motivos, preferimos adotar, neste texto que não tem pretensões científicas ou rigorismo técnico, classificação mais simples, assim definida:

- a) Todo deslocamento das gotas para fora de sua trajetória original, enquanto aplicado na Área-alvo, é considerado DERIVA, independentemente de sua magnitude;
- b) Se o produto, mesmo sofrendo deriva, se mantiver no interior da área em tratamento, se denomina “Deriva aceitável”.
- c) Se a aplicação gerar gotas que não permaneçam no interior da área porque, deslocadas, ultrapassam seus limites e atingem áreas limítrofes, é aqui denominada “Deriva inaceitável” (correspondente à “exoderiva” dos autores citados);
- d) considera-se como “Deriva aceitável” se o produto permanecer no interior da área, mesmo não atingindo diretamente as plantas ou outros alvos biológicos (desde que não atinja pontos, dentro da área, que tenham sido previamente demarcados como “área de exclusão”).

Muitos fatores estão envolvidos no fenômeno da Deriva, mas, os mais importantes são o **diâmetro das gotas**, e a **direção e velocidade do vento**. Podemos controlar a **Deriva (até certo limite) controlando o Diâmetro das Gotas**. Esta tecnologia, na literatura de língua inglesa, é denominada “**CDA**” (**Controlled Droplet Application**). O controle sobre o diâmetro das gotas é a chave da tecnologia de aplicação aérea, fator que nos possibilita fazer aplicações aéreas eficientes e seguras, mesmo quando usando taxas de aplicação relativamente baixas (10-40 litros/ha). Ou seja 10 a 50 vezes menos água do que nas aplicações terrestres.

Já a **direção do vento** pode nos ser útil ou prejudicial. A direção do vento pode ser útil porque é o único fator que pode possibilitar **até 100% de segurança** quanto à “deriva inaceitável”: sempre que o vento, consistente, acima de 3km/hora, soprar proveniente de área sensível em direção à área em aplicação, temos 100% de segurança de que a área sensível não será atingida, qualquer que seja a distância entre elas. Popularmente, afirma-se que “**nenhuma gota, por menor que seja viaja CONTRA o vento**”. Quando, porém, sopra no sentido oposto, o vento é

um fator limitante, pois pode ser o gerador da deriva inaceitável, que pode causar prejuízos ou, para não ocasionar, pode nos levar a suspender a aplicação;

Os melhores equipamentos para aplicação, portanto, são aqueles que permitem exercer controle preciso sobre o diâmetro da Gota, mantendo espectro de gota o mais uniforme possível.

(NOTA: “espectro de gota” é a largura relativa que existe, em uma população de gotas, em torno de seu diâmetro médio. Quanto menos gotas existirem fora do diâmetro médio – abaixo e acima dele – mais “estrito” é o espectro de gotas. Quanto mais estreito o espectro, mais uniforme a aplicação). Trabalhar com gotas não muito finas e respeitando a direção do vento é a forma mais segura de aplicar produtos líquidos, como os agrotóxicos.

3. RELAÇÃO ENTRE 3 DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS NA APLICAÇÃO.

A tabela a seguir mostra a interrelação matemática entre três dos parâmetros fundamentais na tecnologia de aplicação: **Diâmetro de gota** (em micra); **Taxa de aplicação**, ou **volume de aplicação** (litros/hectare); e **Densidade de gota** (gotas/cm²).

Diâmetro de Gota em um	Taxas de aplicação (Volumes) (litros /ha)								
	1	5	10	15	20	25	30	40	50
100	19	95	190	286	381	477	572	763	954
150	5	28	56	84	113	141	169	226	282
200	2	11	23	35	47	59	71	95	119
250	1	6	12	18	24	30	36	48	61
300	0	3	7	10	14	17	21	28	35
350	0	2	4	6	8	11	13	17	22
400	0	1	2	4	5	7	8	11	14

Tabela 2 – Relações entre Diâmetro de Gota, Taxa de aplicação e Densidade de Gotas

A coluna da esquerda mostra alguns diâmetros de gota de 100 a 400 micra e, na primeira linha horizontal, mostra alguns volumes (Taxas de aplicação) de 1 a 50 litros /ha). Fixando, na primeira coluna, um diâmetro de gota desejado, (por exemplo, 300 micra) e percorrendo a linha onde ele se encontra, para a direita, veremos, nas colunas interceptadas, as Taxas de Aplicação (=Volume de aplicação), e, em cada célula resultante da interceptação, a Densidade (gotas/cm²). Confira as colunas destacadas acima (células amarelas), mostrando a interação de um diâmetro

de gota de 300 micra com uma taxa de aplicação de 30 litros/ha. Na interceptação das duas variáveis, vemos que esta combinação permitirá obter, no máximo, teoricamente, 21 gotas por cm². É importante esclarecer que esta deposição teórica assume que as gotas são uniformes e a superfície de deposição horizontal, plana. É portanto, um guia inicial para a seleção dos equipamentos e seus ajustes., não uma “receita”.

3.1. FÓRMULA PARA CÁLCULO DA DENSIDADE DE GOTAS

A fórmula usada para construir a tabela acima, e que podemos usar para calcular quaisquer uma das três variáveis, é a seguinte:

$$Dg = \frac{V}{\left(\left(\left(\frac{d}{1000} \right)^3 \right) \times 52,36 \right)}$$

Em que:

Dg= Densidade de gotas (gotas / cm²)

d= Diâmetro das gotas (micra)

V = Taxa de aplicação (l/ha)

Exemplo :para os valores (Taxa de aplicação 30 l/ha, Diâmetro de gota 300 micra):

$$Dg = \frac{30}{\left(\left(\left(\frac{300}{1000} \right)^3 \right) \times 52,36 \right)}$$

Resultado: Dg = **21 gotas/cm²**

Se desejarmos aumentar a densidade de gotas para, por exemplo, 35 gotas /cm² , célula azul, na margem direita), há mais de uma maneira de fazê-lo:

- Aumentar a taxa de aplicação para 50 litros /ha (aumento de 66,66%) ou
- Reduzir o diâmetro de gota para 267 micra. Redução de 11%).
- Uma combinação das duas estratégias acima;

No exemplo acima, vemos que para aumentar em 66,66% a Densidade de Gotas (de 21 para 35 gotas/cm²), usando a variação da Taxa de Aplicação, é necessário um **acréscimo, igual, de 66,66% na taxa de aplicação**. Já para aumentar a mesma densidade de gotas via redução do Diâmetro DE GOTA, no exemplo em estudo, precisamos **reduzir apenas 11% do diâmetro**.

Este é um dos fundamentos mais utilizados na aplicação aérea. Além de reduzir o consumo de água (10-50 vezes menos que na aplicação terrestre), aumenta em muito a produtividade do trabalho, e, ainda, gotas mais finas têm MAIOR EFICÁCIA no controle de pragas e doenças.

A redução do Diâmetro de Gota e o aperfeiçoamento de outro parâmetro que será abordado mais adiante, o ESPECTRO DE GOTA, **requerem, entretanto, grandes atenção e precaução**. Isto porque quando as condições meteorológicas deixam de ser ideais, gotas mais finas correm maior risco de deriva e/ou evaporação. Por outro lado, a produtividade com 30 litros /Hectare é significativamente maior do que com 50 litros, /ha, o trabalho a 30 litros pode ser completado muito mais rapidamente, tratando toda a área antes que as condições se tornem adversas. **Necessitando completar o serviço em condições climáticas limites, o modo mais eficiente para reduzir a deriva é o aumento do DIÂMETRO DE GOTA e a redução da percentagem de gotas muito finas** Se os cálculos, pela tabela ou pela fórmula da página 3, mostrarem que, com o novo diâmetro de gota, a DENSIDADE DE GOTA será insuficiente, então, além de aumentar o diâmetro de gota será necessário aumentar, também, a TAXA DE APLICAÇÃO.

Para tirar proveito dos parâmetros acima e não correr risco de perdas elevadas por evaporação e/ou deriva é necessário que os equipamentos de pulverização sejam eficientes para ajustar o diâmetro médio das gotas, mas que, ao fazê-lo, não deteriore o espectro de gotas, especialmente no que se refere ao % de gotas finas. Hoje existem, no Mercado, diversas opções de equipamentos que permitem a regulação de gotas com eficácia, mantendo o espectro de gotas mais estreito (= mais uniforme).

3.2. FÓRMULAS PARA CÁLCULOS DOS DEMAIS PARÂMETROS DE APLICAÇÃO.

No item anterior, calculamos a **densidade de gota** a partir da **taxa de aplicação** e do **diâmetro de gota**. É possível, a partir de variantes daquela fórmula, tendo dois parâmetros, calcular qualquer um dos três. A seguir, transcrevemos a fórmula para calcular a TAXA DE APLICAÇÃO, a partir da Densidade de Gotas e do Diâmetro de Gotas:

$$V = Dg \times \left(\left(\frac{d}{1000} \right)^3 \right) \times 52,36$$

Dg = Densidade de gotas (gotas/cm²)

V = Volume = taxa de aplicação (litros/ha)

d= Diâmetro de gotas (micra)

Exemplo: Qual a taxa de aplicação mínima, teórica, para uma aplicação com 40 gotas/cm² usando gotas com diâmetro médio numérico de 200 micra?

$$V = 40 \times \left(\left(\frac{200}{1000} \right)^3 \right) \times 52,36$$

Resultado = 16,7 litros/hectare

3.3. FÓRMULA PARA CALCULAR O DIÂMETRO DE GOTA.:

A fórmula seguinte calcula o Diâmetro (médio) de gota, a partir da Taxa de aplicação e da Densidade de gotas:

$$d = \left(\left(V / (Dg \times 52,36) \right)^{0,3333} \right) \times 1000$$

Em que

Dg = Densidade de gotas (gotas/cm²)

V = Volume = taxa de aplicação (litros/ha)

d = Diâmetro de gotas (micra)

Exemplo: Qual o diâmetro médio, numérico, de gota, mínimo, a usar em uma aplicação com taxa de aplicação 25 litros/ha e densidade de gota de 35 gotas/cm²?

$$d = ((25 / (35 \times 52,36))^{0,3333}) \times 1000$$

Resultado = 238,9 micra

4. DERIVA SOB CONTROLE

É possível planejar uma aplicação que seja segura quanto à deriva, até um certo limite, empregando equipamentos adequados e manejando-os de acordo, com o auxílio das fórmulas acima. A tabela e cálculos das páginas anteriores podem ser de grande valia. Porém **não dispensam o monitoramento durante a aplicação** e se, durante o trabalho, surgirem condições de formação de deriva que tornem impossível mantê-la como “aceitável”, nos limites do diâmetro

de gota máximo assegurado pelo equipamento, devemos suspender a aplicação até que as condições de “Deriva Aceitável” sejam atingidas novamente.

4.1. DERIVA PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA

A deriva também pode ser classificada em outros dois grupos, em função de sua origem:

- **Deriva Primária e**
- **Deriva Secundária**

4.1.1. DERIVA PRIMÁRIA

É aquela da qual tratamos até agora, e que ocorre **durante** a aplicação. *Ela pode ocorrer tanto com equipamentos terrestres como aéreos*, sendo os fatores mais importantes o DIÂMETRO E ESPECTRO DE GOTA, combinados com as CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS. A Deriva Primária pode ser “aceitável”, ou “Inaceitável”, usando a nomenclatura aplicada a este texto (que, como citamos, não é a mesma adotada por vários autores)

Ela é afetada, também, pelos seguintes fatores

- a) Altura do lançamento (m).
- b) Espectro de gotas, em especial a % do volume com gotas abaixo de 100 (ou 150 micra, conforme se queira maior ou menor margem de segurança).
- c) Peso específico dos produtos (peso / volume).
- d) Volatilidade do produto, se aplicado puro, ou volatilidade da calda (produto diluído, geralmente em água).
- .e) Cobertura vegetal (área foliar e densidade das plantas). Quanto maior a cobertura vegetal, menos chance para deriva. Gotas menores proporcionam mais cobertura, ao se fixarem nas plantas, porém, são mais sensíveis à deriva e evaporação se não se fixarem. A tabela da página 3 mostra a correlação, teórica, entre o Volume (ou taxa de aplicação), em litros/ha e a Densidade de Gota (gotas/cm²) que lhe corresponde:

4.1.2. DERIVA SECUNDÁRIA (“Deriva de vapor”)

É uma definição empírica de um fenômeno RARO que pode ocorrer APÓS a aplicação de um produto.

Neste caso, também o fenômeno independe do método de aplicação - APLICAÇÃO AÉREA ou TERRESTRE.

A “deriva secundária” (ou “de vapor”) ocorre quando o produto aplicado é volátil e, nas horas subsequentes à aplicação, deixa evaporar uma parcela de seu conteúdo, podendo esta ser carregada pelo vento e atingir uma área próxima, o que pode causar algum problema, se esta segunda área for sensível a pequenas quantidades do produto. Os fatores que podem causar, em menor ou maior grau a deriva “de vapor” ou secundária são, principalmente:

- a) A volatilidade intrínseca do produto formulado (indicada em publicação do fabricante ou em páginas especializadas);
- b) A temperatura e umidade relativa que ocorrerem nas primeiras horas após a aplicação;
- c) A direção e velocidade do vento;
- d) A estabilidade do ar.

Este fenômeno ocorre principalmente em condições que propiciem a formação de “inversão de temperatura” em que temperaturas mais altas ocorrem em alturas maiores, o inverso do normal (teremos estabilidade atmosférica, na presença de inversão de temperatura).. Isso ocorrendo, o produto eventualmente evaporado fica “preso” entre o solo e a camada de ar que divide os dois gradientes de temperatura. Não podendo se dissipar na atmosfera, esta “nuvem de vapor” pode deslocar-se horizontalmente, o que pode ocasionar os problemas assinalados.

NOTA: a volatilidade de um produto é medida e informada pela sua “PRESSÃO DE VAPOR”). Quanto MAIOR for a pressão de vapor, MAIOR será a volatilidade. Pressões de vapor maiores que “ $x * (y)^{-5}$ ” colocam o produto na categoria dos “voláteis”.

Exemplos de produtos voláteis:

$$\text{2,4-D Éster : Pressão de vapor} = 3,0 * (10)^{-4}$$

$$\text{Trifluralin} = \text{Pressão de vapor} = 1,1 * (10)^{-4}$$

Exemplos de produtos não voláteis.

$$\text{Dicamba} = \text{Pressão de vapor} = 9.24 * (10)^{-6}$$

$$\text{Glifosato} = \text{Pressão de vapor} = 3 * (10)^{-7}$$

Se o produto for volátil, uma parte em forma de vapor pode não se dissipar na atmosfera e deslocar-se à baixa altitude, podendo atingir áreas vizinhas, independentemente do método de aplicação que tenha sido utilizado e sem que o aplicador tenha qualquer responsabilidade sobre o evento. Por este motivo, dentro do possível, deve-se evitar aplicar produtos da categoria dos “voláteis”, principalmente em épocas de temperaturas elevadas e/ou baixa umidade relativa.

5. EVAPORAÇÃO

Dependendo das condições de temperatura e, principalmente, da **umidade relativa do ar** no momento da aplicação e do diâmetro das gotas, estas podem sofrer

redução de seu tamanho, antes de atingir o alvo e, se forem ou se tornarem gotas muito pequenas, poderão sofrer deriva considerável, ou até evaporar totalmente. Naturalmente, este fenômeno não se aplica a produtos não voláteis (como as formulações UBV, por exemplo).

A evaporação pode se tornar um problema sério, porque ela diminui o tamanho das gotas, o que pode aumentar a deriva.

Por exemplo: uma gota de 150 micra pulverizada a 26º C com 30% de umidade relativa terá seu diâmetro reduzido a 40 micra após cair um metro.

Quanto mais tempo a gota d'água ficar no ar, mais ela evapora; assim sendo, pulverizações feitas a maiores alturas e/ou condições de clima que mantenham a gota muito mais tempo no ar aumentam a deterioração do seu tamanho. Em casos extremos, a gota pode até desaparecer deixando o ingrediente ativo como um resíduo seco que tem pouca ou nenhuma eficácia e derivará para lugares distantes. Isso reforça a importância do parâmetro UMIDADE RELATIVA. **Recomenda-se 65% ou mais como umidade relativa ótima, desejável.**

Quando a Umidade Relativa for baixa (inferior a 65%) deve-se trabalhar com gotas de maior diâmetro (acima de 150 micra na sua fração de gotas mais finas, sempre cuidando para não prejudicar a Densidade de Gotas recomendada. Se o aumento do diâmetro de gota causar excessiva redução da Densidade de Gotas, então será necessário aumentar, calculando, a nova Taxa de Aplicação. Também, pode-se reduzir a evaporação das gotas adicionando um produto (aditivo) à calda (aditivo antievaporante). Porém, se o espectro de gotas tiver um percentual muito grande de gotas finas (igual ou abaixo de 150 micra), estas pequenas gotas, se protegidas da evaporação, não se evaporarão e podem, portanto, dar margem ao aumento da deriva ao invés de sua redução. O aditivo pode ser prejudicial nestas situações.

A evaporação e suas consequências podem ser calculadas pela “Fórmula de Amsden”, a seguir, para condição “padrão” de pressão atmosférica:

$$t = \frac{D^2}{80 \times T}$$

Em que t= tempo de vida da gota; D= Diâmetro de gota (micra); T = diferença de temperatura entre os bulbos seco e úmido do termômetro.

Com tal fórmula, foi elaborada a tabela meramente ilustrativa, a seguir:

Diametro de gota (micra)	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa %	tempo de vida (seg)	Distância de queda (m)
50	20	65	8,12	0,30
50	25	75	9,09	0,34
50	30	85	12,62	0,47
100	20	65	32,46	4,87
100	25	75	36,35	5,45
100	30	85	50,48	7,57
150	20	65	73,04	24,65
150	25	75	81,80	27,61
150	30	85	113,58	38,33
200	20	65	129,85	77,91
200	25	75	145,42	87,25
200	30	85	201,93	121,16

Tabela 3– Evaporação sob determinadas temperaturas e Umidade Relativa

Embora seja mais comum, nas recomendações técnicas, dar grande importância à TEMPERATURA do ar, como fator de promoção da evaporação, na verdade, **o parâmetro mais importante é a UMIDADE RELATIVA**. Tanto que, teoricamente, seria possível operar com qualquer temperatura, desde que a Umidade Relativa fosse 100% (porque, neste caso, a evaporação seria 0(zero)). Embora a tendência seja a Umidade Relativa decrescer com o aumento da temperatura, muitas vezes pode-se trabalhar com altas temperaturas, desde que também seja alta a Umidade RELATIVA. Climas frios, mas muito secos, podem promover evaporação mais intensa do que clima com temperaturas altas, mas acompanhadas de elevada Umidade Relativa (condição que, popularmente, se conhece como “clima abafado”, comum na região norte do Brasil.). As duas linhas da tabela acima, destacadas em verde, ilustram tal situação hipotética:

- Na primeira linha verde uma combinação de UR 65% com temperatura de 20°C proporciona “tempo de vida” da gota de 8,12 segundos
- Na segunda linha, verde com uma temperatura bem mais elevada (30°C), o “tempo de vida” é maior:12,62 seg. (menos evaporação), porque a Umidade Relativa do Ar é bem mais elevada (85%).

As nuances sobre como as condições atmosféricas influem nos parâmetros de aplicação tornam imprescindível que, durante o tempo que durar a aplicação, as condições meteorológicas sejam continuamente monitoradas. Uma pequena estação climatológica portátil, de baixo custo, é indispensável como equipamento de auxílio à aplicação, devendo fornecer, pelo menos as seguintes informações, que devem ser registradas e arquivadas junto com o “Relatório de aplicação”:

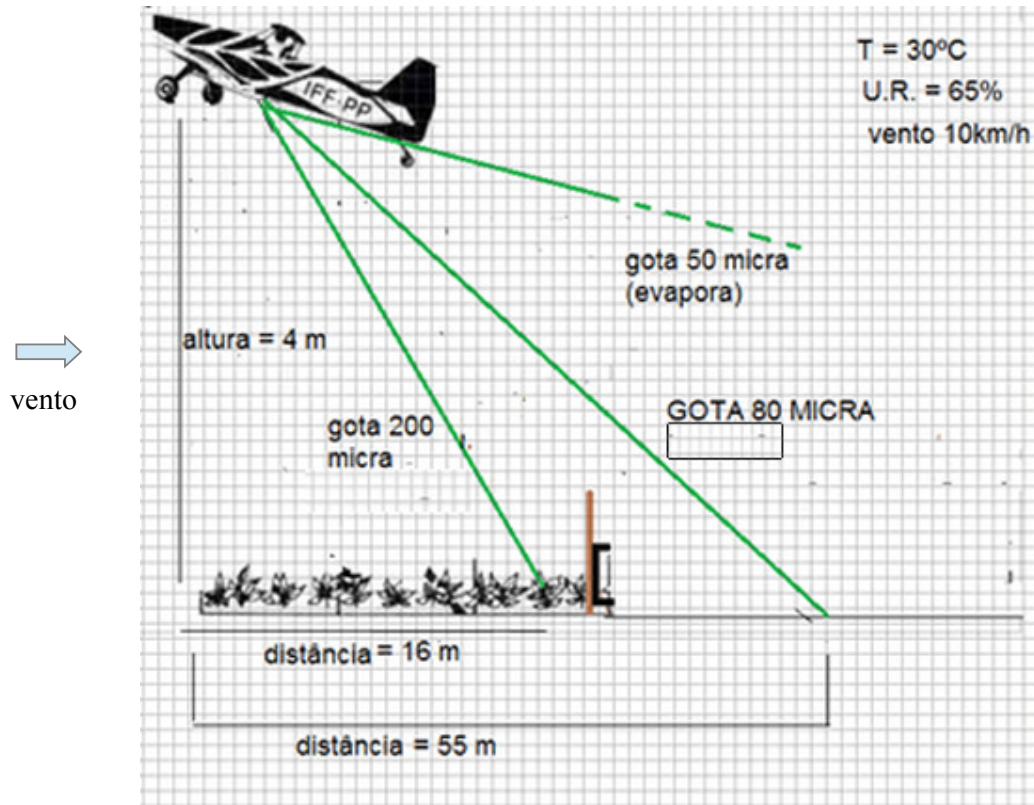
- Temperatura;
- Umidade Relativa do ar;
- Vento (direção e velocidade).

6. RECOMENDAÇÕES ADICIONAIS

Para minimizar a deriva, além do exposto acima, recomenda-se, adicionalmente às variáveis principais, acima descritas, mais as seguintes:

1. Planejar a escolha do equipamento e regulá-lo de forma que, em primeiro lugar, se otimize o espectro de gotas, escolhendo e regulando o equipamento para reduzir ao mínimo possível a fração de gotas finas (< 100-150 micra), para só então pensar em trabalhar em condições de ventos mais fortes e/ou adicionar um antievaporante.
2. Dos chamados aditivos “inibidores da deriva” deve-se usar, como tal, somente aqueles que comprovadamente, reduzam a formação de gotas finas (< 100-150 micra). Não usar, como tal inibidor um aditivo que seja, apenas, um “antievaporante”, exceto se assegurada, antes, a condição do item 1, acima.
3. Óleos vegetais ou minerais não devem ser usados para reduzir a deriva, se, antes, não for evitada a formação de gotas finas porque:
 - os óleos são mais leves do que a água e do que a maioria dos produtos
 - como já acima referido, os óleos poderiam proteger gotas muito finas que, ao invés de evaporar, poderiam derivar.
 - Somente adicione óleo à calda, se o fabricante do produto o recomendar, e se usar, obedeça a recomendação do fabricante quanto à proporção de óleo na calda. Se estas condições constarem da bula ou rótulo, siga-as.
 - Nas emulsões “comuns”, há uma emulsão DO ÓLEO (em pequenas quantidades) NA ÁGUA. Nesta situação, não há contribuição do óleo na proteção contra evaporação... Para que o óleo proteja a gota inteira da evaporação, seria necessário usar o processo denominado “EMULSÃO INVERTIDA”, no qual a quantidade de óleo é maior que a da água, e a mistura é feita de maneira a formar uma EMULSÃO DE ÁGUA EM ÓLEO (a denominada “emulsão invertida”). Este procedimento não é usual nas aplicações no Brasil.

A figura a seguir ilustra os fenômenos de evaporação e deriva em algumas situações, em aplicações aéreas.



Adaptado de Oseki, lasuso. Manual de Aplicação Aérea. 2006

7. ESTIMATIVA PRÉVIA DA DERIVA

A fórmula matemática para estimar a deriva que leve em consideração todos ou quase todos fatores acima torna-se extremamente complexa. É usual, portanto, usar, na prática, fórmula mais simplificada, como a utilizada por Oseki, lasuso, em 2006 (Manual de Aplicação Aérea). Esta fórmula simplificada foca os três fatores principais, já que os demais têm menor influência. A fórmula prática utilizada por aquele autor trabalha apenas com a ALTURA DA BARRA, VELOCIDADE DO VENTO e VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DAS GOTAS DE ÁGUA, que estão contidos na fórmula a seguir:

$$D = \frac{H \times U}{V_s}$$

Fonte: Oseki, lasuzo "Manual de aplicação aérea ,2006

Em que : D= Distância de deriva (metros);
 H= altura de lançamento;
 U= Velocidade do vento (metros por segundo).

Vs= velocidade de sedimentação (m/s). (velocidade final de queda das gotas), em queda livre. Ver Apêndice IV ao final desta publicação.

A velocidade de sedimentação, por sua vez, depende de diversos fatores, sendo que os principais são::

- Diâmetro das gotas;
- Densidade (peso específico.);
- viscosidade do ar;

Há aplicativos e tabelas específicos para determinar a Velocidade de Sedimentação. Um exemplo de programa calculador, para gotas de água, pode ser encontrado em

<http://www.atmosedu.com/meteor/TerminalVelocity.htm>

No Apêndice IV encontra-se uma tabela que correlaciona o diâmetro de gota com a velocidade terminal. A tabela foi elaborada usando o programa acima referido, mais a regressão de dados, o que explica pequenas diferenças entre o original e o contido neste texto.;

ATENÇÃO: Embora muito útil para o planejamento da aplicação, devemos lembrar que, enquanto a matemática é uma ciência exata, os comportamentos da natureza não o são. Assim, embora bem calculado o equipamento, isto não dispensa uma análise da deposição (densidade e espectro das gotas), antes de ser colocado em serviço, seja ele aéreo ou terrestre.

A seguir, um cálculo de deriva feito usando os valores da tabela referida como fonte de dados para as velocidades de sedimentação, sendo:

D= Deriva horizontal (m);= 3m

V = velocidade de sedimentação para gota 250 micra = 0,985 m/s (Apêndice IV);

H =Altura de lançamento = 3 m; U=Velocidade do vento (m/s) = 1,8 (= 6 km/h);

$$D = \frac{3 \times 1,8}{0,985}$$

Resultado : Deriva teórica = 5,48 m.

Se, no entanto, reduzirmos as gotas para o diâmetro de apenas 81 micra a deriva será substancialmente maior (pois diminui a velocidade de sedimentação de gotas: as de 81 micra têm a velocidade de sedimentação de 0,292 m/s):

$$D = \frac{3 \times 1,8}{0,292}$$

Resultado : Deriva = 18,49 m

Ainda, se neste último caso, o vento aumentar para 12 km/h (3,33 m/s,) a situação muda substancialmente:

$$D = \frac{3 \times 3,33}{0,292} = 34,24$$

Resultado: Deriva = 34,24 m

Se, necessitando necessitando decidir sobre prosseguir ou não, uma operação, o vento tiver aumentado para 24 km/h (6,66 /s), a deriva assumiria um valor de 68.42 metros.

$$D = \frac{3 \times 6,66}{0,292} = 68,42$$

Resultado : Deriva = 68,42 m

NOTA : Os cálculos acima não levam em consideração:

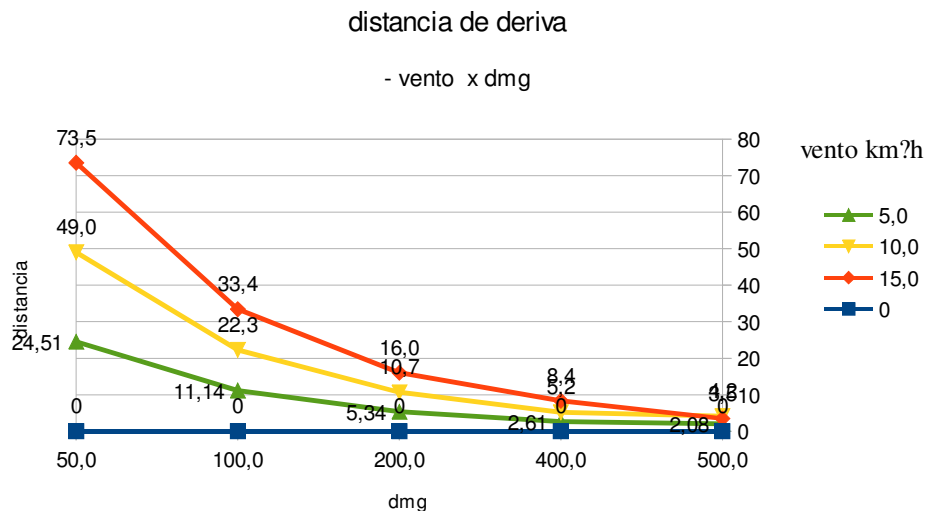
- a) Os turbilhonamentos do ar causados pela passagem do equipamento.
- b) Eventuais turbulências do ar devidas a fatores naturais, como correntes ascendentes.

Um dos parâmetros acima citados, que influi sobremaneira é uma série de movimentos turbulentos do ar, causada pelo deslocamento do equipamento, o que faz com que gotas muito finas possam ser arremessadas para cima, o que lhes pode aumentar a deriva. Além

de ajustar o equipamento para minimizar a formação de gotas finas, este problema pode ser minimizado pelo adequado posicionamento dos bicos / atomizadores ao longo das barras de pulverização, e evitando voos excessivamente baixos ou barras muito próximas ao solo e/ou pressão muito elevada (equipamentos terrestres). Os melhores posicionamentos, para tal finalidade – e para uniformizar a distribuição das gotas- pode ser fornecido pelo fabricante da aeronave / pulverizador ou dos equipamentos instalados. Pode, ainda, ser determinado pelo próprio operador, mediante a realização dos “TESTES DE DEPOSIÇÃO”. Mais um motivo, portanto, para exercer forte controle sobre as gotas (CDA). Exaustivos TESTES DE DEPOSIÇÃO devem ser conduzidos para as melhores escolha e instalação dos equipamentos, sejam eles aéreos ou terrestres.

Os Apêndice I a III mostram alguns exemplos de bicos e atomizadores e o diâmetro médio de gota e/ou o espectro de gotas esperados em algumas situações. Consulte o manual do equipamento para a íntegra da tabela para sua regulação específica ou completa.

VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DA DERIVA EM FUNÇÃO DO VENTO E DIÂMETRO DE GOTA



O gráfico acima, TAMBÉM SIMPLIFICADO, mostra a ação de 4 velocidades de vento (0, 5, 10 e 15 km/h), representadas pelas 4 cores da legenda à direita, sobre gotas de diâmetros de 500, 400, 200, 100 e 50 micra. Simplificadamente, a interpretação é como segue, à altura de lançamento de 3 metros: o eixo vertical é a distância estimada de deriva (m). O eixo horizontal é o Diâmetro Médio de Gota (em micra); de 50 a 500 micra. Os números colocados ao lado de cada

ponto nas curvas representam as distâncias de deriva teórica (0 a 73,5 m). A altura de voo é 3m. Podemos observar o seguinte:

- **à velocidade de vento = 0 km/h**, a deriva de gotas de qualquer diâmetro é, obviamente 0 (extrema direita e eixo inferior do gráfico, cor verde);
- **com vento de velocidade = 5 km/h (cor azul):**
 - gota de 500 micra: deriva de 2,0 m (ampliar a aproximação - “zoom”);
 - gota de 400 micra: deriva de 2,01 m.
 - gota de 200 micra: deriva de 5,34 m (ampliar a aproximação - “zoom”);
 - gota de 100 micra: deriva de 11,14 m
 - gota de 50 micra: deriva de 24,51 m
- **com vento de velocidade = 10 km/h (cor vermelha)**
 - gota de 500 micra: deriva de 4,2 m
 - gota de 400 micra: deriva de 5,2 m (ampliar a aproximação - “zoom”);
 - gota de 200 micra: deriva de 10,7 m (ampliar a aproximação - “zoom”);
 - gota de 100 micra: deriva de 22,3 m
 - gota de 50 micra: deriva de 49,0 m
- **Com vento de velocidade = 15 km/h (cor amarela)**
 - Gota de 500 micra : deriva de 3,5 m
 - gota de 400 micra: deriva de 8,40 m
 - gota de 200 micra: deriva de 16,9 m
 - gota de 100 micra: deriva de 33,4 m
 - gota de 50 micra : deriva de 73,5 m

NOTA: como já alertado anteriormente, os valores acima são os mínimos. Dependendo da Umidade Relativa do Ar, as gotas – principalmente as menores, durante o trajeto da Deriva, podem sofrer redução progressiva de seu diâmetro e com isso derivar mais do que indicam as fórmulas. Portanto, em condições limites de U.R (65% ou menos), margens extra de segurança devem ser adotadas. Sendo que, qualquer que seja o resultado previsto, se as margens de segurança previstas na IN 02/2016 do MAPA forem maiores, estas deverão ser adotadas.

8. PULVERIZADORES AÉREOS E TERRESTRES

Em todas discussões sobre o tema, é comum ouvirmos a afirmativa: “a DERIVA de PULVERIZADORES TERRESTRES É MENOR QUE A DERIVA DE APLICAÇÃO AÉREA”. Ou a “deriva da aplicação aérea não tem controle” (e a do terrestre tem...)”

Estas afirmativas se baseiam nos conceitos equivocados, **de que todos os pulverizadores terrestres são iguais**, aplicam com a barra a menos de um metro de altura, etc. E que a tecnologia de aplicação aérea tem na Deriva um limitador incorrigível., em função, principalmente, da altura do voo.

Tais pressupostos não são verdadeiros, pois:

a) Os pulverizadores terrestres, ao contrário do que muitos pensam, não produzem exclusivamente gotas médias ou grossas. Pelo contrário, o espectro de gotas e a Amplitude Relativa costumam ser bem largos nas aplicações terrestres.

b) Nem todos os pulverizadores terrestres lançam as gotas a partir de 0,5-3,0 metros de altura, mas o fazem de alturas bem maiores. É o caso típico das culturas de árvores frutíferas.

c) O diâmetro das gotas nos aviões agrícolas pode ser ajustado, mediante substituição ou nova regulagem do equipamento, de forma a produzir gotas MÉDIAS ou GROSSAS, se necessário, minimizando o risco de deriva.

Como o fator mais crítico é o diâmetro das gotas, a aplicação aérea lança mão DE PEQUENAS VARIAÇÕES NO DIÂMETRO DE GOTAS (tecnologia conhecida pela sua sigla em Inglês: (CDA – Controlled Droplet Application). TODOS os equipamentos de aeronaves agrícolas permitem variar o Diâmetro de Gotas, o que é útil, indispensável e corriqueiro. E, mais importante, é muito eficaz porque a variação da densidade de gotas se dá na razão CÚBICA do diâmetro, como mostra a tabela da página 4.

8.1. CONTROLANDO O DIÂMETRO DAS GOTAS

O **controle do diâmetro das gotas**, nas aplicações aéreas, pode ser feito de diversas maneiras, como por exemplo, usando um ou, concomitantemente, mais de um recurso:

8.1.1. Nos bicos hidráulicos (Teejet ou similares). O Apêndice I mostra alguns exemplos de variação do diâmetro e espectro das gotas neste tipo de bico. Os seguintes pontos podem ser ajustados para variar diâmetro e espectro de gota:

- pela escolha dos elementos da ponta do bico (“ponta”, “core” ou difusor.). Por exemplo uma ponta D6 com “core” 56 produz gotas MUITO maiores do que a combinação D10/25, à mesma pressão., posicionamento do bico e velocidade.
- pelo “ângulo de posicionamento do bico” (0º, 90º, 135º, etc.); Via de regra, os bicos a 0º produzem gotas maiores que a 45º e te, maiores que a 90].
- pela pressão de trabalho: quanto maior a pressão, menores gotas;

Nota: nesta publicação, adotamos a seguinte convenção, para o posicionamento dos bicos em relação à linha de voo:

- 0º: bicos apontando diretamente para TRÁS;
- 45º: bicos apontando em posição intermediária de 45º entre 0º e 90º
- 90º: bicos apontando diretamente para baixo.

8.1.2. Nos bicos ajustáveis (CP e similares – Apêndice III):

- pela posição do defletor;
- pela pressão de trabalho;
- pelo diâmetro dos orifícios;

8.1.3. Nos atomizadores rotativos (Micronair e similares- Apêndice II)

- Pelo ajuste do ângulo das pás;
- Pela vazão individual de cada atomizador.

NOTA: em todos os modelos de aviões e equipamentos, o tamanho da gota é também influenciado, inversamente, pela VELOCIDADE DE APLICAÇÃO. Como, porém, fixa-se a velocidade de aplicação conforme o modelo de avião, deixa-se de considerar a velocidade como método de ajuste do tamanho das gotas, embora deva ser considerado nos cálculos preliminares.

O ACIMA EXPOSTO COMPROVA QUE A DERIVA, NA APLICAÇÃO AÉREA É CONTROLÁVEL, SENDO O AJUSTE DO DIÂMETRO DE GOTAS O PROCESSO MAIS

LARGAMENTE EMPREGADO, ALÉM DA OBSERVÂNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS.

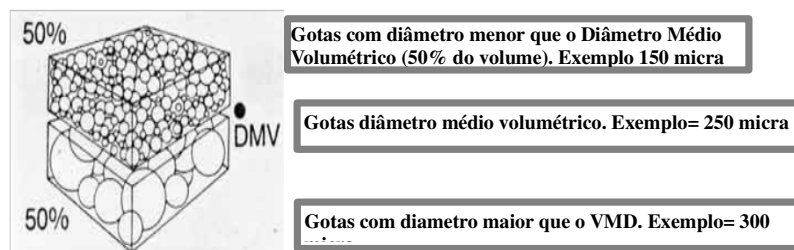
Portanto, não existe somente “**UMA** APLICAÇÃO AÉREA” nem apenas “**UMA** APLICAÇÃO TERRESTRE”. E EM AMBOS OS MÉTODOS É POSSÍVEL OBTER UMA APLICAÇÃO SEGURA, SEM DERIVA INACEITÁVEL, BASTANDO SABER REGULAR OS EQUIPAMENTOS E RESPEITAR AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS VIGENTES. PORTANTO, NÃO SE PODE COMPARAR, GENERICAMENTE, “A aplicação terrestre” com “A aplicação aérea”.

9. ESPECTRO DE GOTAS

Até aqui, abordamos o **diâmetro médio volumétrico de gotas (VMD)** e seu comportamento. mas na prática, o diâmetro médio de gotas representa, como o próprio nome indica, um **valor médio**, que divide o volume aplicado em metade do volume formado por gotas com diâmetro menor que o médio (VMD) e metade do volume por gotas com diâmetro maior que o médio. (VMD)

O espectro de gotas em síntese mostra a uniformidade de uma população de gotas. Quanto maior % do volume for formado por gotas com diâmetro próximo do diâmetro médio, mais uniforme será a aplicação.

A distribuição referida é ilustrada na figura 4 a seguir:



Fonte: Oseki, Yasuzo. Manual de aplicação aérea. 2006.

Os equipamentos são testados, no solo e laboratórios, para verificar o seu ESPECTRO DE GOTAS (ou seja, quantas gotas – e seus diâmetros - são produzidas abaixo e acima do diâmetro médio (VMD).

Se o VMD for, por exemplo, 250 micra acima dele estará um NUMERO MENOR de gotas, porém todas com diâmetros maiores que 250 micra e cujos volumes individuais, somados, perfazem 50% do total, sendo o diâmetro médio desta fração MAIOR do que o VMD.

Inversamente, abaixo de 250 micra estarão, em maior número, as gotas com diâmetros menores que 250 e cujos volumes, somados, perfazem 50% do VOLUME total (mas cujo diâmetro médio -desta fração – será MENOR que 250 micra).

NOTA: *Alguns autores consideram gotas de diâmetro inferior a 150 micra como mais críticas em relação à deriva, enquanto outros se referem como crítico o diâmetro de 100 micra, ou menos, (exceto em controle de vetores em que, ao contrário, precisamos de gotas menores, que não caiam ao solo com muita velocidade). Com o objetivo de minimizar eventual deriva, deve-se, portanto, não só levar em consideração o DMV (Diâmetro Médio), como também o percentual do volume formado por gotas finas “deriváveis” (que, aqui, consideraremos < 150 micra).*

A maioria dos autores recomenda que, na agricultura, gotas inferiores a 100 ou 150 micra, só sejam usadas em condições climáticas muito favoráveis (Temperatura abaixo de 28°C, Umidade Relativa acima de 65º e ventos inferiores a 10 km/h).

NOTA: para monitoramento destes parâmetros de gotas (Densidade, diâmetro, espectro, temos que utilizar sistemas sofisticados, os “Analisadores de deposição computadorizados”. Nestes, as gotas são recolhidas em um substrato especial, - por exemplo, papel sensível à água- onde cada gota, individualizada, pode ser contada e medida por um digitalizador acoplado a um computador “rodando” um software especializado (por exemplo Sprinkle@; Gotas@; AgroScan@.)

No computador, as gotas são divididas em CLASSES de diâmetro (colunas A, B e C, na tabela abaixo, colocadas em colunas em ordem crescente do diâmetro e, somando-se a média de volume de cada classe (coluna G, da mesma tabela), acumuladamente, detectamos o somatório de 50%, ou muito próximo a este percentual (célula G6). Na mesma linha, à esquerda (na coluna D, teremos o Diâmetro Médio Volumétrico) - 0,273 mm da população 1. Ver tabela a seguir:

A	B	C	D	E	F	G	
POPULAÇÃO 1							POPULAÇÃO 2
Classe	Limite inferior	Limite superior	Diâmetro médio numérico	Nº de gotas %	% volume	% volume acumulado	% do volume acumulado
1	0,00	0,05	0,034	33,9	0,320	0,320	1,11
2	0,05	0,10	0,075	22,2	2,100	2,420	4,90
3	0,10	0,15	0,123	18,1	7,050	9,470	12,60
4	0,15	0,20	0,172	12,5	13,100	22,570	19,70
5	0,20	0,25	0,223	6,38	14,400	36,970	12,30
6	0,25	0,30	0,273	3,23	13,400	50,370	50,61
7	0,30	0,35	0,323	1,81	12,400	62,770	12,20
8	0,35	0,40	0,371	0,85	8,890	71,660	11,10
9	0,40	0,45	0,424	0,31	4,750	76,410	5,30
10	0,45	0,50	0,47	0,31	6,480	82,890	6,00
11	0,50	0,55	0,523	0,22	6,370	89,260	5,00
12	0,55	0,60	0,566	0,1	3,620	92,880	2,90
13	0,60	0,65	0,618	0,04	2,080	94,960	1,80
14	0,65	0,70	0,66	0,07	4,070	99,030	3,90
15	0,70	0,75	0,733	0,01	0,870	99,900	1,19
16	0,75	0,85	0,81	0,01	0,100	100,000	100,00

TABELA 5: Divisão de população de gotas por classe de diâmetro

Então, para a população 1, acima teremos:

- **Menor diâmetro médio NUMÉRICO: 0,034 mm (34 micra). (Célula D1)**
- **Maior diâmetro médio (NUMÉRICO): 0,810 mm (Célula D16)**
- **DIÂMETRO MÉDIO VOLUMÉTRICO (VMD = 0,273 mm (célula D6)**

O espectro de gotas pode, aproximadamente, ser verificado na mesma tabela, somando os percentuais do volume formado por gotas acima e abaixo de um determinado valor.

Por exemplo, se quisermos saber a % do volume com gotas abaixo de 150 micra, vemos, na coluna D, o valor do diâmetro médio (0,15 mm) e o encontraremos na classe 3, coluna D (0,123). Na coluna G (% do volume acumulado, veremos que, na classe 3, o somatório é 9,470. Ou seja, nesta população, aproximadamente 9,47% do VOLUME é constituído por gotas com diâmetro menor ou igual a 150 micra. Esta é a percentagem do volume mais sujeita à deriva e/ou evaporação, dependendo da volatilidade da calda aplicada.

Porém, na hipotética “População 2”, (**Resultados na Coluna J**), o espectro seria bastante diferente, embora os volumes médios sejam semelhantes (273 micra). Na “População 2”, 12,60% do volume é formado por gotas abaixo de 150 micra. Esta segunda população tem, portanto, ligeiramente maior risco de deriva.

10. CÁLCULO MATEMÁTICO DO VMD

Se desejarmos o valor exato do VMD, ao invés de procurarmos estimá-lo, aproximadamente, como naquela tabela, ele pode ser calculado através da seguinte fórmula;

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{\sum d_i^3}{n}}$$

Em que:

- d_v = diâmetro mediano volumétrico (VMD)
- d_i = diâmetro de cada gota, individualmente
- n = número total de gotas

11. AMPLITUDE RELATIVA (A.R.). (do Inglês: SPAM)

Utilizando-se os dados anteriores, é possível calcular um parâmetro prático, que também expressa a uniformidade de uma população de gotas. É o que chamamos de AMPLITUDE RELATIVA.

É resultante de uma fórmula matemática que correlaciona 3 parâmetros de uma população de gotas:

$$A.R. = \frac{D_{v0,9} - D_{v0,1}}{D_{v0,5}}$$

Em que:

$(DV_{0,1})$ = diâmetro da gota que indica que 10% do volume acumulado é

constituído por gotas de diâmetro inferior a ela.

$(DV_{0,9})$ = diâmetro da gota que indica que 90% do volume acumulado é

constituído por gotas de diâmetro inferior a ela

$(DV_{0,5})$ = VMD = Diâmetro mediano volumétrico.

Ou seja, subtrai-se do $DV_{0,9}$ o $DV_{0,1}$ e divide-se o resultado pelo VMD ($DV_{0,5}$).

Quanto menor for o resultado, maior será a uniformidade da população de gotas.

- **Exemplo: Usando-se valores hipotéticos $(DV)^{0,9}= 296$; $(DV)^{0,1}= 75$; VMD = 172**

$$A.R. = \frac{296 - 75}{172}$$

Resultado = Amplitude Relativa = 1,28

Calculando com outros dados hipotéticos, mas com o mesmo VMD: $DV_{0,9} = 266$; $DV_{0,1} = 65$; VMD = 172, teremos

$$A.R = \left(\frac{266 - 65}{172} \right)$$

Resultado : A.R. = 1,17 .

Podemos ver que, embora as duas populações tenham o mesmo VMD (172) diferem na Amplitude Relativa, sendo menor – e melhor – a segunda, com 1,17. Espectro mais estreito.

12. DERIVA NAS APLICAÇÕES AÉREAS E TERRESTRES: ALGUNS ESCLARECIMENTOS

Como já abordado anteriormente, é inadequado fazer uma comparação genérica entre “aplicação aérea” e “aplicação terrestre”, eis que dentro de cada segmento, variam enormemente suas características e resultados, tantos são os tipos de pulverizadores utilizados, sendo uns de grande eficiência e segurança, inclusive quanto à deriva e outros, nem tanto.

12.1. APLICAÇÃO AÉREA

Quanto à aplicação aérea, embora as aeronaves sejam de diversas marcas e modelos, todas têm a mesma concepção básica, sendo que as diferenças mais relevantes, quanto às características da tecnologia de aplicação, são a ENVERGADURA (distância de uma ponta da asa à outra), que influi diretamente na LARGURA DE FAIXA e a VELOCIDADE. **Entretanto, a variedade de equipamentos de aspersão e, em cada um, as alternativas de regulação, são muitas, e fazem toda diferença.** Se, usando um equipamento a uma determinada configuração, houver risco de deriva, pode o equipamento e/ ou sua regulação serem alterados, para que o risco seja minimizado.

Aeronaves agrícolas - 3 modelos em uso no Brasil



EMBRAER EMB-203	AIR-TRACTOR AT-502	CESSNA A188B
-----------------	--------------------	--------------

12.1.1. EQUIPAMENTOS PARA APLICAÇÃO AÉREA DE LÍQUIDOS.

A aviação agrícola, no Brasil, só pode usar equipamentos aprovados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, os quais são discriminados na [Instrução Normativa 15, de 2016](#) do MAPA. Tais equipamentos, por força da IN 15, têm características importantes, que se destinam principalmente à segurança ambiental. Por exemplo a IN 15/2016 determina que CADA bico ou atomizador usado na pulverização aérea, seja dotado de válvula individual com vedação automática, não presente em todos equipamentos terrestres. A finalidade de tais válvulas é impedir o gotejamento do produto ainda contido nas barras, quando fora da área de aplicação,

Ademais, seguindo práticas internacionais, a válvula principal de controle da pulverização aérea, é obrigatoriamente dotada de um mecanismo de sucção do líquido contido nas barras, de maneira a garantir que, em caso de defeito (vazamento) pontual de um ou mais bicos, estes não gotejem quando interrompida a aplicação, pelo piloto, encarregando-se a válvula de sugar o líquido de volta ao tanque, evitando a contaminação fora da área-alvo).

Todos os equipamentos para aplicação aérea de produtos líquidos, alguns abaixo ilustrados, possuem MAIS de um recurso à disposição do operador para alterar os parâmetros de aplicação, em especial a TAXA DE APLICAÇÃO e o ESPECTRO DE GOTAS. Tem assim o operador de um avião agrícola PLENO CONTROLE de todas as propriedades da aplicação, INCLUSIVE as relacionadas à DERIVA.

EQUIPAMENTOS PARA APLICAÇÃO AÉREA, UTILIZADOS NO BRASIL (LISTA PARCIAL).

				
Bico de jato conico ou leque "Teejet"	Bico "CP 03"	Bico ajustável "Stol"	Atomizador rotativo "Micronair AU5000"	Atomizador rotativo "Stol"
				
Atomizador rotativo Turboaero	Eletrostático "Spectrum"	Atomizador rotativo "Microspin"	Atomizador rotativo "Microbell"	Atomizador rotativo "Travicar"

13. APLICAÇÃO TERRESTRE

Quando nos referimos à aplicação com pulverizadores terrestres, para efeito de comparação, é necessário explicitar o TIPO de pulverizador empregado em uma determinada pesquisa ou aplicação comercial, eis que os pulverizadores terrestres são encontrados em diversos modelos, que diferem muito no modo de utilização, desempenho e eficácia, inclusive quanto ao POTENCIAL RISCO DE DERIVA, como referido anteriormente. Não abordaremos aqui a totalidade dos tipos existentes, limitando-nos aos principais.

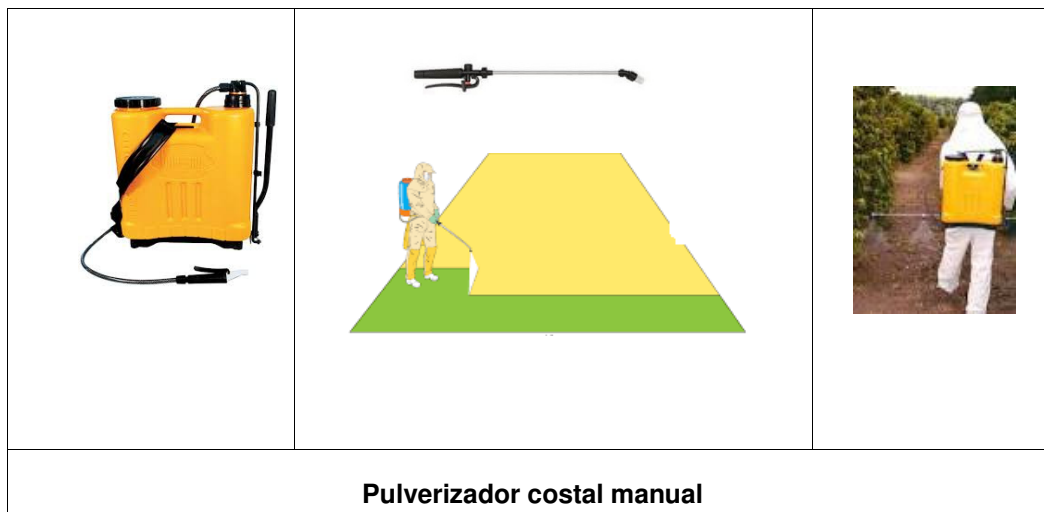
13.1. PULVERIZADORES "COSTAIS".

São equipamentos em forma de "mochila", levados às costas do operador o qual, naturalmente deverá, na aplicação de agrotóxicos, estar protegido por todos os EPIs (Equipamentos de Proteção Individual), tais como máscaras, luvas, macacão impermeável e botas. Mesmo assim, o risco individual (ocupacional) é dos mais elevados. Os "pulverizadores costais", por sua vez, têm dois subtipos:

13.1.1. PULVERIZADOR COSTAL MANUAL

É o tipo mais simples: consta de um tanque, uma bomba pressurizadora manual, um tubo ou "lança" e um bico (diversos tipos). A bomba pressurizadora é

acionada manualmente pelo operador, o qual direciona o jato de líquido diretamente ao objetivo. De um modo geral as gotas são de diâmetro médio a grande. O potencial de contaminação ambiental por deriva é muito pequeno, quase nulo, principalmente na ausência de ventos fortes. Entretanto, o risco ocupacional do trabalhador é altíssimo. É muito utilizado em pomares domésticos e pequenas lavouras de subsistência.



14.1.2. Pulverizador costal motorizado.

Semelhantes ao modelo costal manual, os motorizados distinguem-se daquele pelo fato da bomba que pressuriza o líquido ser motorizada, podendo ser acionada por motor elétrico ou à explosão (combustível gasolina).

Aproveitando o recurso de potência proporcionado pela bomba mecanizada, muitos modelos de equipamentos costais motorizados substituem a “lança”, na ponta da qual está o bico ou bocal pulverizador, por um tubo tipo traqueia flexível, de grande diâmetro e que, na ponta, possui um bocal especial. Este tubo de maior diâmetro conduz ar sob pressão, proporcionado por uma ventoinha também acoplada ao motor. O produto é retirado do tanque por um tubo de baixo diâmetro, que através de um bico, injeta-o no centro do bocal do tubo flexível. O ar, comprimido, saindo pelo bocal e encontrando o líquido, fraciona-o em gotas MUITO FINAS, que são jogadas a grande distância pelo ar comprimido. Alguns equipamentos deste tipo chegam a produzir gotas tão finas como 20-30 micra!

O potencial de contaminação ambiental por deriva é muito elevado com este pulverizador, principalmente quando utilizado sobre plantas altas, como em pomares, em regiões de pequenas propriedades, onde as chácaras são muito próximas (vizinhas) e uma propriedade pode aplicar produto compatível com sua cultura, mas contraindicado para o cultivo vizinho.

As figuras a seguir mostram aspectos dos pulverizadores costais motorizados



13.2. PULVERIZADORES DE BARRAS, “TRÊS PONTOS” e TRACIONADO.

Estes tipos de pulverizadores são sem dúvida os mais empregados na agricultura brasileira. Ambas variantes se caracterizam por usar um trator – dos já disponíveis na propriedade – para nele ser instalado o equipamento pulverizador, que pode ser fixado no mecanismo hidráulico “três pontos” (utilizado para fixar uma grande variedade de acessórios (semeadoras, arados, distribuidores de adubo e calcário, etc.).

Os elementos do pulverizador “três pontos” são instalados em um módulo metálico que contém um tanque (geralmente com cerca de 600 litros de capacidade), uma bomba pressurizadora (acionada pela “tomada de força” do trator), uma válvula (abrir-fechar), comandada mediante um cabo ou corda manejado pelo operador do trator e duas barras pulverizadores (barra direita e esquerda). Nas barras são instalados os bicos de pulverização (geralmente do tipo jato-leque ou jato-cônico, que trabalham com uma pressão elevada, sendo os jatos dos bicos posicionados a 50-80 cm sobre as culturas (somente podem ser empregados em cultivos de plantas com baixa estatura). A calibração é feita pelo maior ou menor grau de abertura da válvula. Trabalham com pressão e taxas de aplicação elevadas (pressão em torno ou acima de 100 psi e taxas de aplicação de 150 a 500 litros/hectare)

O pulverizador “tracionado” é semelhante em tudo ao “três pontos”, porém com uma diferença essencial: ele tem rodado próprio e, ao invés de ser instalado no “levante hidráulico”, é rebocado pelo trator. Em função disso sua capacidade pode ser maior (em torno de 2.000 litros).

As figuras a seguir ilustram alguns tipos:

		
Pulverizador de barras com levante hidráulico (“três pontos”)	Pulverizador de barras “de arrasto”, comum	Pulverizador de barras ar-assistido”

Dependendo da configuração, a aplicação com estes tipos de pulverizadores é de médio risco de deriva. No entanto, verifica-se aumento do risco quando os fatores meteorológicos são desfavoráveis e nas seguintes situações:

a) Quando trabalhando em cultivos com baixa cobertura foliar, usando pressões de trabalho muito elevadas. Isto pode causar efeito “rebote”, no qual gotas de diâmetros reduzidos são aplicadas com pressão tão alta que parte do produto - aquela composta por gotas mais finas - não se deposita, “rebotando” e sendo projetada para cima, atingindo altitudes de 2 a 4 metros, onde, apanhadas pelo vento, podem derivar a médias distâncias.

b) Modelos mais antigos dos pulverizadores de barra usam sistema de carregamento com água que, quando abastecido diretamente de um manancial, contamina-o.

13.3. PULVERIZADORES TIPO “CANHÃO”

São pulverizadores ar-assistidos, porém não usam barra. O princípio de formação de gotas é semelhante aquele do “Costal Motorizado” um duto de ar comprimido por um compressor de alta pressão executa duas tarefas : a) O contato do líquido com o ar comprimido gera gotas finas; b)O ar sob pressão, dirigido para a mesma direção para onde sopra o vento, carrega as gotas a longas distâncias, proporcionando largas faixas de aplicação. Mas infelizmente este sistema tem pouco controle e constitui um equipamento com grande potencial de deriva, pois dela se utiliza para aumento do alcance. **DE TODOS OS PULVERIZADORES TERRESTRES, ESTE, PROVAVELMENTE, É O QUE TEM MAIOR RISCO DE DERIVA, POIS ELE, ALÉM DE FRACIONAR O LÍQUIDO EM GOTAS FINAS, APROVEITA O VENTO REINANTE PARA LEVAR AS GOTAS A MAIORES DISTÂNCIAS.**

13.4. PULVERIZADORES AXIAIS

São muito utilizados em culturas de árvores frutíferas: percorrendo as entrelinhas das árvores, Os bicos de pulverização são dispostos em forma de círculo, sendo

que os bicos superiores pulverizam, de baixo para cima, com pressão alta (100 a 200 psi), visando atingir o topo das árvores, **o que lhes confere também , elevado grau de risco de deriva.**

	
Pulverizador tipo “canhão”	Pulverizador “Axial”

13.5. PULVERIZADORES AUTO-PROPELIDOS.

São os mais modernos e, como seu nome indica, trata-se de máquinas em que a tração (motor, diferencial e rodas e elementos do pulverizador constituem uma só unidade). Como são muito caros, ainda tem menor participação.

Os auto propelidos, em sua maioria, têm uma variedade grande de acessórios de auxílio à pulverização, inclusive acessórios de Agricultura de Precisão (GPS, Controladores de Fluxo, etc.). Alguns modelos podem ter sua altura ajustável. Permitindo-lhes operar sobre culturas de maior porte, como milho. Nesta situação, entretanto, passam a ter risco de deriva mais elevado do que na configuração padrão.

	
Pulverizadores auto propelidos	

Deriva em aplicações terrestres



Pulverizador de barras, levantando atrás de si uma nuvem de gotas finas, que podem originar deriva, em condições que a favoreçam

Pulverizador tipo “canhão” : as gotas são arrastadas a grandes distâncias pelo fluxo de ar combinado com o vento.

Pulverizador axial: uma turbina de grande potência gera fluxo de ar suficiente para lançar as gotas do produto até alturas de 6 m.

14. CONCLUSÕES:

1. A “aplicação terrestre”, assim como também a aérea, não é praticada sempre com a mesma tecnologia nem com os mesmos equipamentos. Há equipamentos terrestres com baixo risco de deriva e outros cujo risco potencial é muito elevado (veja os pulverizadores tipo “canhão”). Para operar com segurança equipamentos que ofereçam risco de deriva seria necessário contar, como na Aviação Agrícola, com pessoal especializado, legislação, normas técnicas, etc, o que infelizmente não é ainda realidade.
2. Tanto a aplicação aérea como a terrestre, se bem conduzidas, podem fazer aplicações seguras, com baixos riscos de deriva. Se / onde pontualmente forem mal conduzidas, ambas podem gerar episódios de deriva, que podem ser graves.
3. Do ponto de vista da saúde dos aplicadores, a aplicação terrestre, em especial a “costal” oferece risco maior do que qualquer outra das citadas
4. Se não forem bem conduzidas, todas podem ocasionar deriva. Mas a aplicação aérea, além de pessoal capacitado, tem um conjunto de normas, legais, administrativas e técnicas que, seguidas, tornam a aplicação aérea segura.
5. Trazendo enormes benefícios à saúde ocupacional dos trabalhadores, na aplicação aérea não é permitida, durante a operação, a presença de pessoas na área em tratamento. Na aplicação terrestre, ao contrário, a presença de pessoas na área – os próprios aplicadores – é inevitável.
6. **Portanto, não se pode comparar, genericamente, “APLICAÇÃO AÉREA” com “APLICAÇÃO TERRESTRE”, INCLUSIVE QUANTO A DERIVA.**

15. “AGDRIFT” Uma ferramenta útil para simulação da deposição e da deriva.

Um software que com muito mais precisão, flexibilidade e recursos, permite simular a ocorrência de deriva, características da deposição e trajetória das gotas, é o “AGDRIFT”. Com ele, ao invés de manejarmos fórmulas e tabelas, podemos alimentar o programa com dados que vão desde as características dos aviões, até as condições climáticas simuladas, passando pelas características dos equipamentos instalados, produtos aplicados e dezenas de outros parâmetros que influem no resultado da aplicação, com ênfase na Deriva, deposição e trajetória das gotas. É um programa teórico, naturalmente, mas desenvolvido com a contribuição de grandes autoridades científicas, universidades e centros de pesquisa. O programa foi aperfeiçoado a pedido da EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), que hoje o utiliza como ferramenta de trabalho para fins de auditoria, perícia e normatização da aplicação aérea em áreas de proteção ambiental.

O AgDRIFT® (versão 2.1.1), uma versão modificada do modelo AGricultural DISPersal (AGDISPTM) desenvolvido pelo Serviço Florestal dos EUA, foi criada sob um Contrato de Pesquisa e Desenvolvimento Cooperativo entre a EPA, o Serviço Florestal do Departamento de Agricultura dos EUA e o Força-Tarefa de Deriva de Pulverização. O modelo AgDRIFT® tem a capacidade de avaliar uma variedade de condições de deriva de pulverização de aplicações agrícolas e deposição fora do local da formulação líquida de pesticidas. Este modelo pode ser usado na estimativa da deposição a jusante do desvio de pulverização de aplicações aéreas, de crescimento no solo e de pulverização de pomar / vinhedo.

O programa, em sua versão 2.1.1. pode ser “baixado” gratuitamente em https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/agdrift_2.1.1.zip

Em 15 de novembro de 2019.

Eduardo Cordeiro de Araujo

Contato: Eduardocorar@gmail.com

(Referências e Apêndices anexos)

REFERÊNCIAS:

- .
AKESSON, N.B. & Yates, W.E. The Use of Aircraft in Agriculture, FAO Agricultural Development Paper No. 94, Roma, 1974, 217 p.
- AKESSON**, N.B. & Yates, W.E. **The Use of Aircraft in Agriculture**. FAO Roma, 1974, 217 p.
- ARAUJO**, E.C. “Aviação Agrícola e o Meio Ambiente”, em [www.sindag.org.br/trabalhos técnicos](http://www.sindag.org.br/trabalhos_técnicos). 2016
- ARAUJO**, E.C. “DERIVA NA APLICAÇÃO AÉREA DE PRODUTOS LÍQUIDOS”. Em www.sindag.org.br / trabalhos técnicos.
- ARAÚJO**, E.C. “Equipamentos do Sistema Agrícola”. Apostila “Curso de Atualização Técnica em Aviação Agrícola”. Pelotas, 2008.
- ARAÚJO**, Eduardo. “Perfil da Aviação Agrícola Brasileira 2018”. Monografia, 2018.
- CARVALHO**, Wellington P.A.. **Introdução à Tecnologia de Aplicação e Calibração de Equipamentos**. Centro Nacional de Engenharia Agrícola, Iperó, SP, 1987, 41 p.
- CHRISTOFOLETTI**, José Carlos. **O uso de bicos de pulverização para aplicações aéreas**. I FENAERO, Canela, RS, 1988, 24 p.
- EMBRAER**. Calibração do Equipamento de Pulverização
- EMBRAER**. Manual de Serviços - Ipanema, Rev. 10, São José dos Campos, SP, 1982, 424 p.
- GANDOLFO**., ULISSES D. Espectro de Gotas e Deriva na Pulverização de Diferentes Formulações de Herbicidas. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura). 2018
- HEWITT**, A.J. “The practical use of agdrift® and other drift exposure models for aerial
- MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. “Instrução Normativa 02/2008”. Brasília, 2008
- MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. “Instrução Normativa 15/2016. Brasília, 2016
- MICRONAIR** Aerial Ltd. Micronair AU 5000 and AU 5000-2 Mini Atomizer Handbook, England, 1988, 58 p.
- OZEKI, Iasuso**. “Manual de Aplicação Aérea”. São Paulo. Editora do autor, 2006
- TRAVICAR**, Retificadora. Catálogo Equipamentos Aeroagrícolas, 35 p

APÊNDICE I - EXEMPLOS DE ESCOLHA DO EQUIPAMENTO EM FUNÇÃO DAS GOTAS

BICO HIDRÁULICO “TEEJET”

Influencia do ângulo

Influência do ângulo						
Bico hidráulico jato cônico	Ponta	core	Pressão	velocidade	ângulo	Espectro de Gotas
 core  ponta 	D8	46	30	110		DV0.5 = 407u
					0º	A.R. = 0,80
						V <100 u=0,70%
						DV0.5 = 331 u
					45º	A.R. = 0,98
						V <100 u=4,03%
						DV0.5 = 274 u
					90º	A.R. = 1,12
	V <100 u=9,65%					

Influência do difusor (“core”)

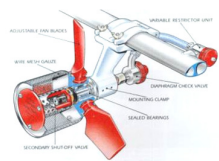
Influência do difusor ("core")						
Bico hidraulico jato conico	Ponta	ângulo	Pressão	velocidade	Difusor	Espectro de Gotas
 core  ponta	D8	45	30	110		DV0.5 = 331 u
					46	A.R. = 0,98
						V <100 u=4,03%
						DV0.5 = 348 u
					56	A.R. = 1,04
						V <100 u=3,52%
						DV0,5= 264 u
					45	A.R = 1,4
						V<100u =6.7 %

Influência da ponta

Bico hidraulico jato conico	ângulo	core	Pressão	velocidade	ponta	Espectro de Gotas
  core  ponta	45	46	30	110		DV0.5 = 325 u
					D4	A.R. = 1,03
						V <100 u= 6,52%
						DV0.5 = 331 u
					D8	A.R. = 0,98
						V <100 u=4,03%
						DV0.5 = 335 u
					D10	A.R. = 1,00
	V <100 u=11,59%					

Maiores informações : <https://teejet.it/english/home/calculator.aspx>

ATOMIZADORES ROTATIVOS "MICRONAIR AU-5000"



LITROS POR MINUTO	Angulo das pás	RPM	Espectro de gotas
15	35	7.832	DV _{0,1} =18
			DV _{0,5} = 59
			DV _{0,9} = 148
			A.R. = 1,36
15	45	5.088	DV _{0,1} = 31
			DV _{0,5} = 99
			DV _{0,9} = 217
			A.R. = 1,89
15	55	3.334	DV _{0,1} = 50
			DV _{0,5} = 153
			DV _{0,9} = 309
			A.R. = 1,70
15	65	2.250	DV _{0,1} = 75
			DV _{0,5} = 200
			DV _{0,9} = 422
			A.R = 1,58
15	75	1.498	DV _{0,1} = 105
			DV _{0,5} = 294
			DV _{0,9} = 550
			A.R = 1,51
15	80	1.220	DV _{0,1} = 121
			DV _{0,5} = 331
			DV _{0,9} = 617
			A.R = 1,50

Maiores informações: <https://www.microngroup.com/droplets/models.php>

APÊNDICE III EXEMPLOS DE ESCOLHA DO EQUIPAMENTO EM FUNÇÃO DAS GOTAS

BICOS CP-03

Influência do orifício (0,062, 0,078, 0,125 e 0,172 polegadas

BICO "CP-03"	Pressão PSI	Velocidade mph	Defletor Angulo	Orifício #	Espectro de gotas
	30	110	30	0,062	DV0.1=153
					DV0.5= 344
					DV0.9 = 549
					A.R. = 1,15
					% V < 100um = 4,38
	30	110	30	0,078	DV0.1= 158
					DV0.5= 361
					DV0.9 = 624
					A.R. = 1,29
					% V < 100um = 3,88
	30	110	30	0,125	DV0.1= 176
					DV0.5= 408
					DV0.9 = 772
					A.R. = 1,46
					% V < 100um = 2,67
	30	110	30	0,172	DV0.1= 201
					DV0.5= 451
					DV0.9 = 812
					A.R. = 1,36
					% V < 100um = 1,85

Influência do defletor

BICO "CP-03"	Pressão PSI	Velocidade mph	Defletor Angulo	Orifício #	Espectro de gotas
	30	110	30	0,078	DV0.1=201
					DV0.5= 401
					DV0.9 = 812
					A.R. = 1,36
					% V < 100um = 1,85
	30	110	50	0,078	DV0.1= 158
					DV0.5= 361
					DV0.9 = 624
					A.R. = 1,29
					% V < 100um = 3,88
	30	110	90	0,078	DV0.1= 106
					DV0.5= 245
					DV0.9 = 422
					A.R. = 1,29
					% V < 100um = 10,85

Maiores informações > <https://www.translandllc.com/product/nozzles/cp-aerial-nozzles/>

APÊNDICE IV– VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO DE GOTAS DE ÁGUA

VMD (micra)	velocidade (m/s)		VMD (micra)	velocidade (m/s)
10	0,007		510	2,045
20	0,048		520	2,086
30	0,089		530	2,126
40	0,129		540	2,167
50	0,170		550	2,208
60	0,211		560	2,249
70	0,252		570	2,289
80	0,292		580	2,330
90	0,333		590	2,371
100	0,374		600	2,412
110	0,415		610	2,452
120	0,455		620	2,493
130	0,496		630	2,534
140	0,537		640	2,575
150	0,578		650	2,615
160	0,618		660	2,656
170	0,659		670	2,697
180	0,700		680	2,738
190	0,741		690	2,778
200	0,781		700	2,819
210	0,822		710	2,860
220	0,863		720	2,901
230	0,904		730	2,941
240	0,944		740	2,982
250	0,985		750	3,023
260	1,026		760	3,064
270	1,067		770	3,104
280	1,107		780	3,145
290	1,148		790	3,186
300	1,189		800	3,227
310	1,230		810	3,267
320	1,270		820	3,308
330	1,311		830	3,349
340	1,352		840	3,390
350	1,393		850	3,430
360	1,433		860	3,471
370	1,474		870	3,512
380	1,515		880	3,553
390	1,556		890	3,593
400	1,596		900	3,634
410	1,637		910	3,675
420	1,678		920	3,716
430	1,719		930	3,756
440	1,759		940	3,797
450	1,800		950	3,838
460	1,841		960	3,879
470	1,882		970	3,919
480	1,923		980	3,960
490	1,963		990	4,001
500	2,004		1000	4,042

Fonte: <http://www.atmosedu.com/meteor/TerminalVelocity.htm>