

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA EXPERIMENTAL DE PULVERIZAÇÃO VISANDO A DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS

Renato Adriane Alves Ruas¹, Mauri Martins Teixeira², Haroldo Carlos Fernandes³, Antônio Alberto da Silva⁴, Rogério Faria Vieira⁵

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho desenvolver e avaliar o desempenho de um sistema de pulverização centrífugo para definição de parâmetros rastreáveis da aplicação de agrotóxicos. O sistema foi constituído por uma estrutura metálica, sob a qual, foi adaptado um suporte para acoplamento de um pulverizador centrífugo. A estrutura permitia o deslocamento do pulverizador em diferentes velocidades e rotações do cone rotativo. As avaliações consistiram na determinação do perfil e na uniformidade de distribuição volumétrica, além dos espectros e populações de gotas, operando o pulverizador nas rotações de 105; 157; 210; 262 e 315 rad s⁻¹ e velocidades de 0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 km h⁻¹. O menor coeficiente de variação da distribuição volumétrica foi de 10,59 %, sendo obtido na rotação do cone rotativo de 315 rad s⁻¹. A faixa útil de pulverização variou de 1,80 m a 2,40 m. As maiores densidades de gotas variaram entre 150 e 180 gotas cm² quando o pulverizador operou com rotações de 262 a 315 rad s⁻¹ e velocidades de 0,5 a 1,0 km h⁻¹. A cobertura máxima foi de 27,06% quando o pulverizador operou à rotação de 315 rad s⁻¹ e velocidade de 0,5 km h⁻¹.

Palavras-chaves: pulverizadores, tecnologia de aplicação, rastreabilidade.

ABSTRACT

Development and Evaluation of an Experimental Spraying System to Determine Spray Parameters of Pesticide Application

This study was done to develop and evaluate the performance of a centrifuge spraying system to define the traceable parameters of pesticide sprayers. The system consisted of a metallic structure to which a brace was adapted for attaching a centrifuge sprayer. This structure permitted moving the sprayer at different speeds and revolutions of the rotative cone. Evaluations were done for profile determination and volume uniformity distribution, spectrum and drop populations, with sprayer operating at 105; 157; 210; 262 or 315 rad s⁻¹ at a speed of 0.5; 1.0; 1.5; 3.0; 4.5 or 6.0 km h⁻¹. The lowest variation quotient for the volume distribution was 10.59% at the revolution of 315 rad s⁻¹. The sprayer's useful range varied from 1.8 to 2.4m. The highest drop density varied between 150 and 180 drops cm² at 262 and 315 rad s⁻¹ at the speed of 0.5 and 1.0 km h⁻¹ respectively. The maximum coverage was 27.06% at 315 rad s⁻¹ at speed of 0.5 km h⁻¹.

Keywords: sprayers, spray technology, traceability.

Recebido para publicação em 17.12.2007 Aprovado em 08.08.2008

¹ Agrônomo, Prof. CEFET-Urutai, Uned Morrinhos - GO, D.Sc. rruas@cefeturutai.edu.br

² Agrônomo, Prof. Associado, DEA - UFV, D. Sc. mauri@ufv.br

³ Eng. Agrícola, Prof. Associado, DEA - UFV, D.Sc. haroldo@ufv.br

⁴ Agrônomo, Prof. Associado, DFT - UFV, D.Sc. aasilva@ufv.br

⁵ Agrônomo, Pesquisador Epamig/Embrapa - D.Sc. rfvieira@epamig.br

INTRODUÇÃO

Os agrotóxicos são insumos importantes nos sistemas de produção agrícola, uma vez que seu uso envolve aspectos sociais, econômicos e ambientais. Apesar disso, muitas vezes, são utilizados de modo indiscriminado, o que aumenta o risco de intoxicação e contaminação ambiental. De acordo com Law (2001), a tecnologia de aplicação proporciona, comumente, deposição de agrotóxicos fora dos alvos, gerando perdas da ordem de 60 a 70% do volume aplicado.

O Brasil é o quarto consumidor mundial de agrotóxicos e a crescente demanda do consumidor por processos produtivos com menor impacto ambiental tem gerado a necessidade de avaliar o comportamento e o destino das moléculas de agrotóxicos no meio ambiente (LUCCHINI, 2004). Assim, torna-se muito importante o conhecimento não só do agrotóxico a ser aplicado, mas também do necessário domínio da tecnologia de aplicação, de forma a garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando-se as perdas e, conseqüentemente, reduzindo os níveis de resíduos, sobretudo, nos alimentos (CUNHA, 2005).

Matuo (2004) entende tecnologia como sendo a aplicação de conhecimentos científicos para um processo produtivo. Logo, pode-se definir a tecnologia de aplicação de agrotóxicos como o emprego de conhecimentos científicos para aplicação desses produtos no alvo, com eficiência, economia e mínima contaminação de outras áreas. Entretanto, a defasagem tecnológica de alguns equipamentos de pulverização pode acarretar erros de regulagem e calibração, proporcionando aplicações de doses e, ou volumes de pulverização diferentes daqueles previamente estabelecidos (CORDEIRO et al., 2004).

Os pulverizadores hidráulicos são os mais utilizados na aplicação de agrotóxicos, devido, principalmente, à maior uniformidade de distribuição volumétrica. Aplicações de volumes de calda superiores a 150 L ha⁻¹ são realizadas com esses pulverizadores (BODE et al., 1983). O princípio da pulverização hidráulica, que consiste na

passagem do líquido sob pressão por um orifício de diâmetro reduzido, produz gotas de tamanhos variados.

Em geral, gotas com diâmetros menores de 100 µm aumentam o risco de perdas, principalmente por evaporação ou deriva, enquanto gotas com diâmetros maiores que 600 µm podem escorrer sobre o alvo, proporcionando pouco tempo para o produto atuar e atingir seu mecanismo de ação. Assim, quanto mais uniforme for o tamanho das gotas produzidas pela pulverização, maior poderá ser o controle e o monitoramento da aplicação.

Em laboratório, alguns equipamentos podem ser empregados na produção de gotas uniformes, tais como discos rotativos, micropipetas e agulhas vibratórias. Dentre estes equipamentos, os discos rotativos, utilizados nos pulverizadores centrífugos, produzem população de gotas com coeficientes de homogeneidade de 1,2 a 1,6, considerado como excelente no que diz respeito à uniformidade dos diâmetros de gotas produzidas (LAGUNA, 2000). Além disso, os pulverizadores centrífugos permitem variar facilmente o diâmetro das gotas, são de simples construção e têm a vantagem de produzir elevado fluxo de gotas, que se distribuem ao acaso sobre o alvo (CORREA & HELD, 1980).

O princípio de funcionamento desse equipamento baseia-se na deposição do líquido, sob baixa pressão, sobre um dispositivo girando a elevadas rotações. À semelhança dos pulverizadores hidráulicos, a pulverização também é mecânica, e o transporte do jato até o alvo é proporcionado pela força centrífuga, perfazendo trajetórias tangenciais aos dispositivos rotativos (LAGUNA, 2000).

A velocidade de rotação e o diâmetro do dispositivo rotativo, assim como a densidade aparente e a tensão superficial do líquido, determinam o tamanho das gotas a serem produzidas pelos pulverizadores centrífugos. Conforme se observa na Equação 1, o tamanho das gotas é tanto menor quanto maior for o número de rotações, o diâmetro do disco, a densidade aparente do líquido e menor tensão superficial do líquido (HUANG et al., 2006).

$$D = \frac{K}{W} \sqrt{\frac{\sigma}{d\rho}} \quad (1)$$

em que,

D = diâmetro da gota, cm;

K = constante dependente do equipamento;

W = velocidade angular do cone rotativo, rad s⁻¹;

σ = tensão superficial do líquido, dina cm⁻¹;

d = diâmetro do cone rotativo, cm;

ρ = densidade do líquido, g cm⁻³.

A constante K , apresentada na Equação 1, expressa a relação entre o diâmetro da gota produzida pelo pulverizador centrífugo e a sua circunferência de estrangulamento. De acordo com Correa e Held (1980), o valor de K geralmente oscila entre 2,1 e 2,4. Entretanto, Alcock e Froehlich (1986), trabalhando com equipamento semelhante, encontraram valores de K entre 2,67 e 6,55. Um ponto comum nesses trabalhos é que os autores determinaram o valor da constante, deslocando os alvos sob os dispositivos rotativos de formação das gotas.

Em termos gerais, o processo de fragmentação do líquido em gotas pode ser explicado por meio da equação de equilíbrio de pressões. De acordo com Costa (2002), uma gota de pulverização encontra-se em equilíbrio, quando

$$P_i = P_e + P_s \quad (2)$$

em que,

P_i = pressão interna (Pa),

P_e = pressão externa (Pa),

P_s = pressão produzida pela tensão superficial em uma gota (Pa).

A pressão devido à tensão superficial em uma gota pode ser obtida por

$$P_i - P_e = \frac{2\sigma}{r} \quad (3)$$

em que,

σ = tensão superficial do líquido (N m⁻¹),

r = raio da gota (m).

Como a gota não mantém uma forma permanentemente esférica, há de se considerar os raios de curvaturas principais da mesma. Assim, a Equação 3 passa a ser

$$P_i - P_e = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (4)$$

em que,

r_1 = maior raio de curvatura da gota, m;

r_2 = menor raio de curvatura da gota, m.

Ao entrar em contato com o ar, a pressão externa na superfície da gota aumenta a tal ponto que a pressão advinda da tensão superficial não consegue contrabalançar, suficientemente, o incremento da pressão externa. Desta forma, rompe-se a condição de equilíbrio, pois, P_i permanece constante. O significado físico disso é a fragmentação dos filamentos em gotas e destas em outras de menores tamanhos, nas quais as forças de tensão superficial são maiores, devido ao seu menor raio de curvatura (FROST, 1981).

Quando uma gota de pulverização é lançada ao ar, outras variáveis como vento, instabilidade atmosférica e velocidade de deslocamento do equipamento afetam, substancialmente, sua dinâmica até o alvo (MURPHY et al., 2000; FAROOQ et al., 2001).

Objetivou-se com a realização deste trabalho, desenvolver e avaliar o desempenho de um sistema de pulverização centrífuga para a determinação de parâmetros rastreáveis e para a aplicação de agrotóxicos, quanto ao espectro e população de gotas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa. O sistema de pulverização constituiu-se de uma estrutura metálica na forma de uma barra, com 12 m de comprimento e altura máxima de 2,50 m. Sob a estrutura, foi adaptado um suporte para acoplamento do pulverizador. O suporte possibilita o ajuste da altura de pulverização até 1,50 m e move-se ao longo da barra, impulsionado por motor elétrico de indução trifásica de 1 cv e rotação de 1715 rpm. Na saída do motor elétrico, acoplou-se um mecanismo redutor de velocidade, composto por corrente e engrenagens, que se move sobre cremalheiras fixadas ao longo da estrutura, acionando, assim, o suporte do pulverizador, em velocidades constantes.

O motor da barra autodeslizante foi ligado a um inversor de frequência que permitia controlar várias funções, como acionamento em diferentes velocidades, paradas, inversão do sentido de rotação e programação dos tempos de aceleração e desaceleração do conjunto.

À barra de pulverização autodeslizante foi acoplado o pulverizador centrífugo, que se constituía das seguintes partes: depósito de calda com capacidade de 12 L; registro para controle da vazão; mangueiras transparentes de 3/8"; motor de corrente contínua de 9 Watts e dispositivo rotativo horizontal cônico de 0,08 m de diâmetro com bordas serrilhadas. O motor do pulverizador foi ligado à rede elétrica por meio de uma fonte para redução da tensão de 120 para 24 V. Na Figura 1, apresenta-se o sistema de pulverização utilizado nas avaliações.

Para variar a rotação do motor do pulverizador centrífugo, adaptou-se um potenciômetro entre o motor e a fonte de energia, de modo a variar a tensão de alimentação do motor. As rotações foram monitoradas com um estroboscópio digital Lutron DT 2239 A, com capacidade para medir rotações entre 2,1 a 1.100 rad s^{-1} com uma precisão de $\pm 0,5\%$. Foram selecionadas as rotações de 105; 157; 210; 262 e 315 rad s^{-1} .

Determinou-se o perfil de distribuição volumétrica do pulverizador pela coleta de água

em coletores espaçados de 0,10 m entre si, os quais, cobriram uma área de 7,8 m^2 . O pulverizador foi posicionado no centro da área coberta pelos coletores a uma altura de 0,5 m. Em seguida, pulverizou-se durante 10 minutos nas rotações de 105; 157; 210; 262 e 315 rad s^{-1} , com uma vazão de alimentação do dispositivo de rotação de 1,0 L min^{-1} .

Ao final de cada pulverização, o líquido coletado nos copos foi medido em provetas graduadas, com capacidade de 20 mL e precisão de 0,2 mL. Durante o ensaio, mediram-se a temperatura e a umidade relativa do ar, utilizando-se um psicrômetro.

Foram traçados gráficos para visualização do perfil de distribuição volumétrica da pulverização e para a determinação da largura efetiva de trabalho em cada rotação do motor. Para isso, empregou-se o coeficiente de variação como medida da uniformidade de aplicação de acordo com sobreposições laterais do jorro de pulverização. Este estudo foi realizado por meio de simulação do software Excel.

O ensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



Figura 1. Sistema de pulverização utilizado na determinação dos parâmetros para aplicação de agrotóxicos.

Foram determinados, também, o espectro e a população de gotas proporcionadas pelo cone rotativo nas rotações 105; 157; 210; 262 e 315 rad s⁻¹ e velocidades de 0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 km h⁻¹, com vazão de alimentação de 1,0 L min⁻¹. Em cada passada do pulverizador, posicionaram-se quatro etiquetas amostradoras de papel contact, com dimensões de 26 x 76 mm, ao longo da faixa de aplicação, a uma distância de três metros a partir do início da barra autodeslizante.

No intuito de permitir que as manchas formadas nas etiquetas de papel contact apresentassem contraste suficiente para a leitura, foi adicionado à água de pulverização o corante negro, marca Guarany, indicado para tintura de tecidos de algodão. O corante foi, previamente, dissolvido em água fervente e, posteriormente, adicionado à calda, na proporção de 10 g L⁻¹. Logo após a pulverização, as etiquetas foram coletadas e fotografadas e as imagens obtidas foram processadas no programa Image Tool, versão 2.0 Alpha 3.

Foram determinados, o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), que representa o diâmetro da gota que divide o volume pulverizado em duas partes iguais; o diâmetro da mediana numérica (DMN), que representa o diâmetro da gota que divide o número de gotas em duas partes iguais; o coeficiente de homogeneidade (CH), que representa a relação entre DMV e DMN e expressa a homogeneidade do tamanho das gotas; a densidade de gotas (DEN) e a porcentagem de cobertura (COB). Utilizou-se a Equação 5 para a correção da dispersão das gotas na etiqueta de papel contact (RODRIGUES, 2005).

$$\hat{Y}=1,6454x-12,33 \quad (5)$$

em que,

\hat{Y} = diâmetro da mancha, μm ; e

x = diâmetro da gota, μm .

Após a determinação dos diâmetros das gotas, a constante do pulverizador centrífugo foi calculada por meio da Equação 6. Para essa análise, considerou-se os diâmetros médios das gotas

proporcionados pelas rotações e velocidades de deslocamento do pulverizador.

$$K = \frac{D \times W}{K_0} \quad (6)$$

em que,

K = constante dependente do equipamento;

D = diâmetro médio das gotas de pulverização, cm;

W = rotação do dispositivo de pulverização centrífugo, rad s⁻¹;

K_0 = constante obtida em função das características do líquido de pulverização e dimensões do dispositivo rotativo.

A constante K_0 foi calculada de acordo com a Equação 7:

$$K_0 = \left(\frac{\sigma}{d \times \rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

em que,

d = diâmetro do dispositivo de rotação, cm;

σ = tensão superficial da água, dina cm⁻¹;

ρ = densidade da água, g cm⁻³.

Os tratamentos foram dispostos no fatorial 6 x 5 (6 velocidades e 5 rotações). Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e analisados por meio de análise de regressão múltipla. Para isso, utilizou-se o software SAEG 9.0 (Sistema de Análise Estatística e Genética - UFV).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura e a umidade relativa do ar durante a realização dos ensaios foram, em média, 21 °C e 84%, respectivamente.

Na Figura 2, vêem-se os perfis de distribuição volumétricos transversal do pulverizador centrífugo ao operar em diferentes rotações. Os gráficos expressam na abscissa, a posição dos copos coletores e na ordenada, as porcentagens do volume coletado em relação ao volume total.

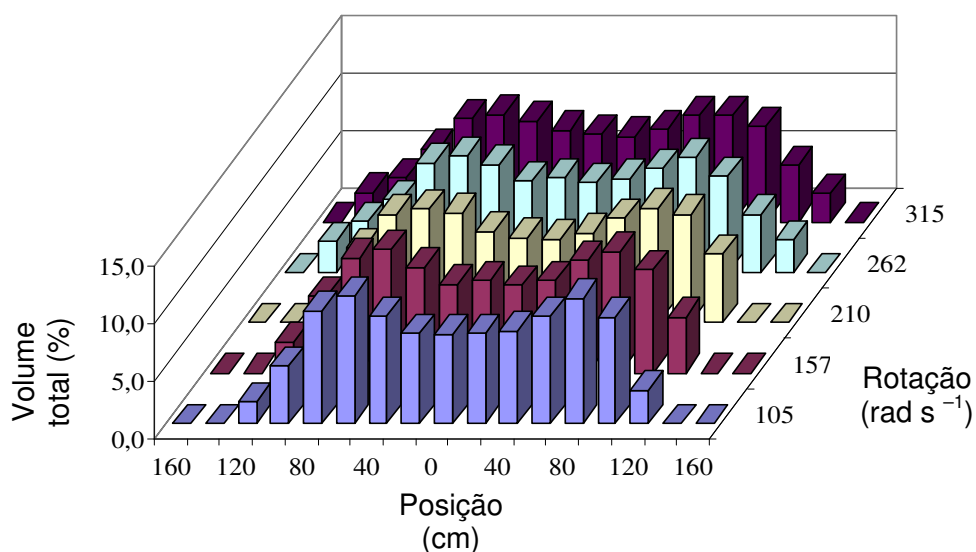


Figura 2. Perfil da distribuição volumétrica proporcionado pelo pulverizador centrífugo em diferentes rotações.

Em todas as rotações, o perfil de distribuição volumétrico manteve o mesmo padrão, ou seja, maior volume próximo às extremidades e pequena depressão no centro do jorro. Com este tipo de perfil, dificilmente obtêm-se baixos coeficientes de variação da uniformidade de distribuição de líquido. As rotações de 105, 157, 210, 262 e 315 rad s^{-1} apresentaram coeficientes de variação de 52,8; 52,3; 47,3; 46,9 e 44,1 %, respectivamente. As diferenças nos coeficientes de variação podem ser explicadas pelo fato de que nas rotações mais baixas observou-se maior deposição

de água nas regiões mais próximas ao pulverizador, proporcionando maiores coeficientes de variação.

De modo geral, com o aumento das rotações, houve melhor distribuição de líquido sobre a área, o que resultou em maior uniformidade da distribuição volumétrica (Quadro 1). O menor coeficiente de variação (10,59%) foi obtido na rotação de 315 rad s^{-1} , cuja média foi significativamente maior que as demais. A faixa útil de pulverização variou de 1,80 m na menor rotação e a 2,40 m nas duas maiores rotações.

Quadro 1. Uniformidade de distribuição volumétrica transversal e faixa útil de pulverização, obtidas para cada rotação do pulverizador centrífugo

Rotação (rad s^{-1})	Uniformidade de distribuição volumétrica transversal (%)	Faixa útil (m)
105	17,21 A	1,80 A
157	15,88 A	2,00 B
210	12,18 B	2,20 C
262	13,26 B	2,40 D
315	10,59 C	2,40 D

Médias seguidas por mesma letra, comparadas nas colunas, não diferem, significativamente, entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Este resultado é semelhante ao obtido por Bode et al. (1983). Os autores obtiveram valores de CV da ordem de 48%, na análise do perfil volumétrico isolado, o que diminuiu para cerca de 20% quando se realizou aplicação com sobreposições das laterais do jorro de pulverização. Salyani (1996) sugere que um CV adequado para pulverizadores centrífugos seja, no mínimo, 15 %.

Na análise do fatorial, para verificar o efeito das rotações do cone rotativo e as velocidades do pulverizador centrífugo no diâmetro da mediana volumétrica das gotas, verificou-se significância dos efeitos simples de rotação e velocidade, porém, a interação dos fatores avaliados não foi significativa em nível de 5%, pelo teste F.

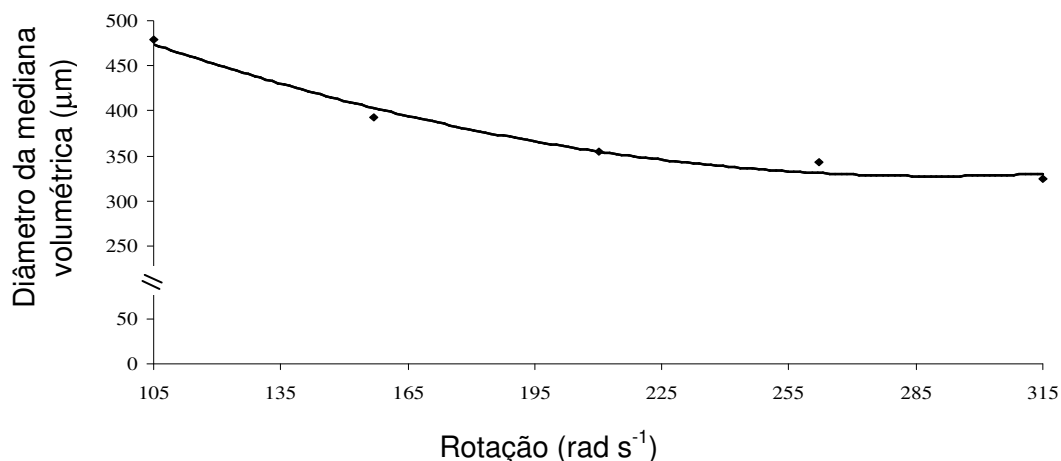
As rotações proporcionaram a formação de DMV médios de 318 a 465 μm (Figura 3), enquanto as velocidades proporcionaram DMV médios de 292 a 498 μm (Figura 4).

De modo geral, os dois fatores (rotação e velocidade) proporcionaram DMV com baixo potencial de deriva, porém, com possibilidade de escorrimento pelo alvo. Essas gotas também tendem a se

depositarem apenas nas partes externas das plantas, não penetrando no dossel.

O diâmetro das gotas diminuiu com o aumento das rotações e das velocidades do pulverizador (Figuras 3 e 4). Nas duas situações, as mudanças foram progressivamente menores, o que indica a existência de um limite mínimo de diâmetro, pois, as curvas tenderam a se tornar assintóticas. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa (2002), que avaliou a fragmentação de líquido usando corrente de ar em alta velocidade.

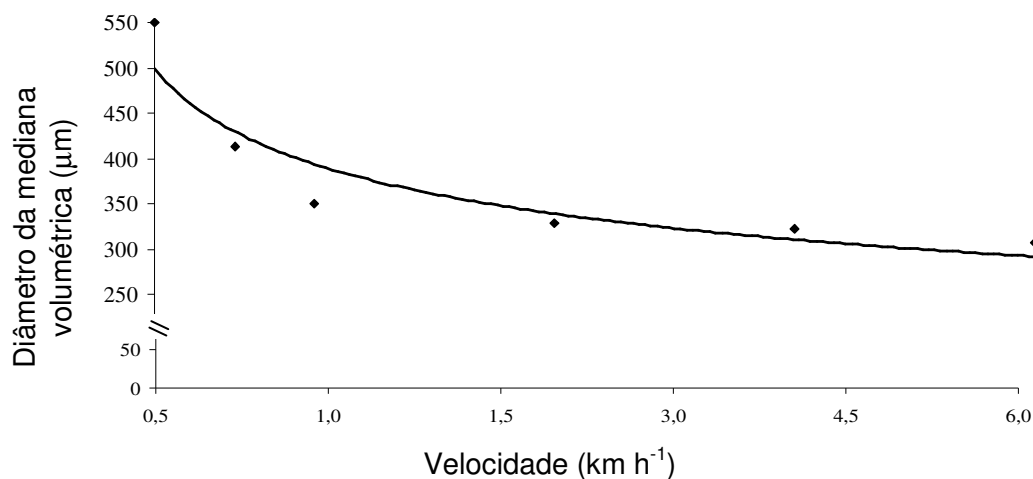
A tendência do surgimento de um diâmetro-limite proporcionado pelo aumento na rotação do pulverizador centrífugo, pode estar relacionada à ação das forças externas e internas resultantes da resistência do ar e da tensão superficial da água, ocorridas durante o percurso das gotas no ar. O processo de fragmentação das gotas se inicia, quando a gota é lançada ao ar e parece continuar até que o diâmetro atinja um valor mínimo, que permita manter o equilíbrio das forças atuantes sobre a gota (TEUNOU & PONCELET, 2005).



$$DMV = 2348,5000 ROT^{-0,3477*} \quad R^2 = 96 \%$$

*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Figura 3. Diâmetro da mediana volumétrica produzido pelo pulverizador centrífugo, operando em diferentes rotações do cone rotativo.



$$DMV = 429,6500 VEL^{-0,2155^*} \quad R^2 = 88 \%$$

*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Figura 4. Diâmetro da mediana volumétrica produzido pelo pulverizador centrífugo, operando em diferentes velocidades.

Quando o pulverizador desloca-se em baixas velocidades, ocorre sobreposição na deposição das gotas sobre o alvo, o que resulta em manchas maiores sobre a superfície amostradora. Ao aumentar a velocidade de deslocamento, a sobreposição das gotas diminui, o que resulta em manchas com menores diâmetros.

Verificou-se pequena variação da constante K do pulverizador centrífugo, nas velocidades empregadas. Assim, optou-se pela determinação desse valor num intervalo de confiança de 95% de probabilidade. Esse valor variou entre 1,82 e 2,30, sendo condizente com os valores citados pela maioria dos trabalhos consultados (CORREA & HELD, 1980; ALOCK & FROEHLICH, 1986). Acredita-se que, fixando a velocidade de deslocamento e trabalhando com maior número de rotações, seriam gerados mais dados amostrais e o valor desta constante poderia ser determinado com maior exatidão.

O espectro de gotas produzidas pelo cone rotativo proporcionou CH de 1,29, valor considerado muito bom, pois, indica pequena variação no tamanho das gotas em torno de um diâmetro médio. Os valores de DMV e de CH devem ser analisados conjuntamente para a avaliação da

pulverização. Isoladamente, o DMV fornece um valor de referência sem indicar a dispersão dos diâmetros em torno de um diâmetro médio. O CH indica a homogeneidade do tamanho das gotas e quando o seu valor é igual a um, significa que todas as gotas são do mesmo tamanho.

Houve interação significativa entre as diferentes rotações e velocidades nas densidades de gotas, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. Logo, procedeu-se ao estudo da análise de regressão múltipla, sendo que os coeficientes escolhidos apresentaram resposta linear e significância em nível de 1%, pelo teste t. Na Figura 5, vê-se a influência das rotações e das velocidades na densidade de gotas proporcionada pelo pulverizador centrífugo. Em geral, foram observadas maiores densidades de gotas à medida que as rotações foram aumentadas e as velocidades foram diminuídas.

As rotações de 105 a 157 rad s⁻¹ e velocidades de 3,0 a 6,0 km h⁻¹ proporcionaram densidade de até 30 gotas cm⁻². As maiores densidades variaram entre 150 e 180 gotas cm⁻², quando o pulverizador operou com rotações de 262 a 315 rad s⁻¹ e velocidades de 0,5 a 1,0 km h⁻¹ (Figura 5).

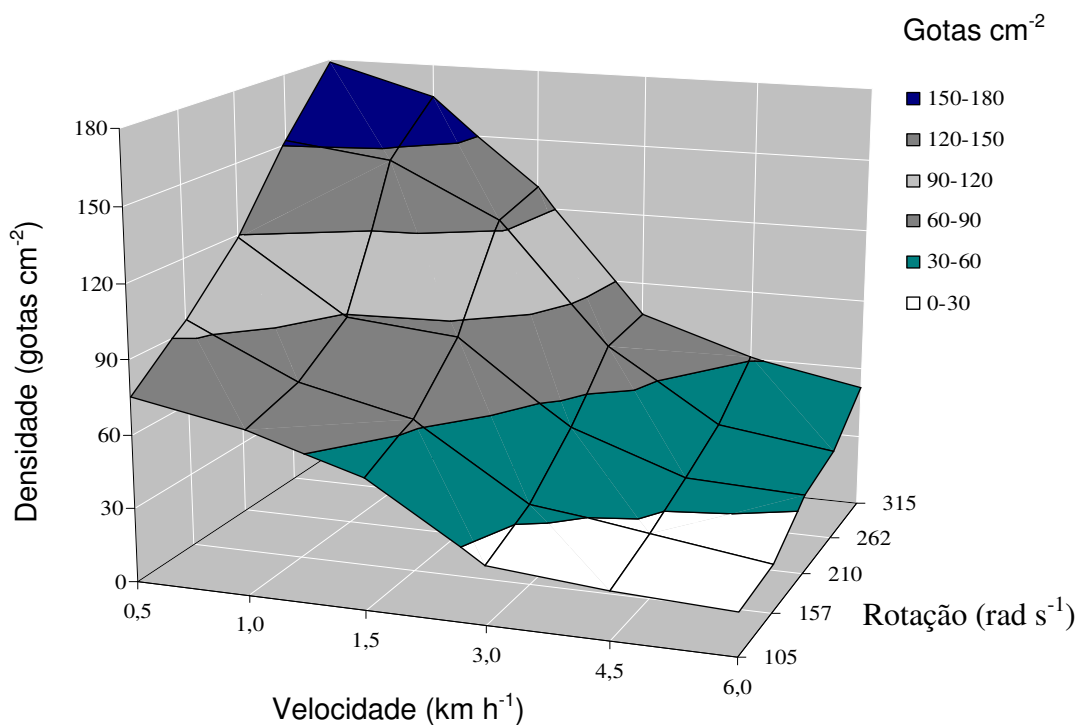
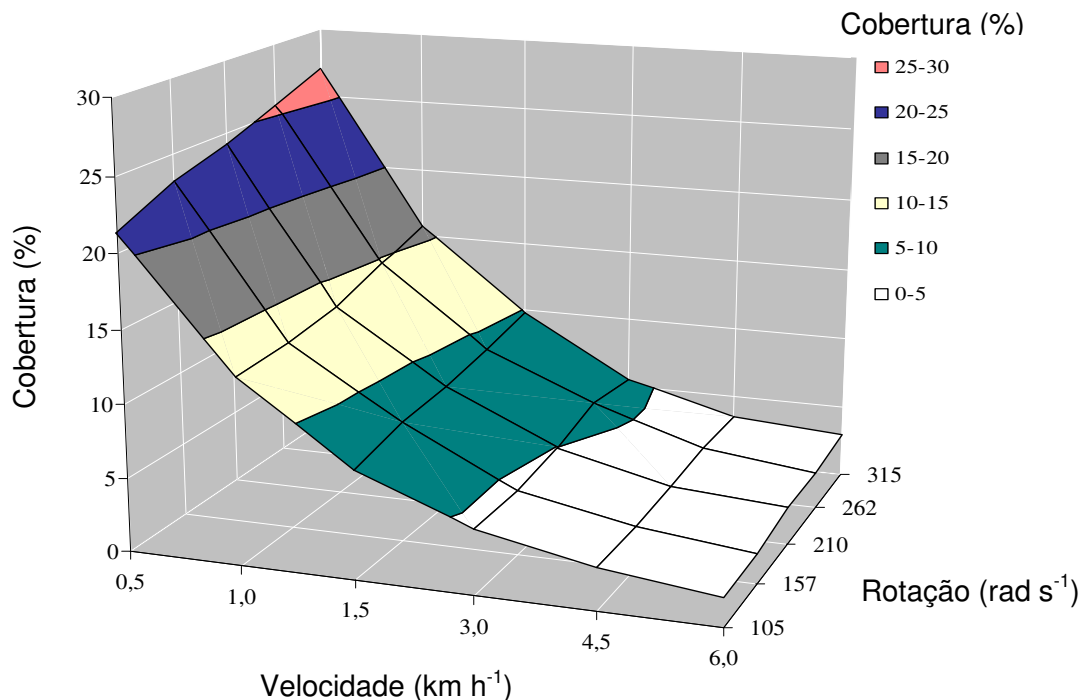


Figura 5. Densidade de gotas proporcionada pelo pulverizador centrífugo operando em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do dispositivo rotativo.

O aumento nas rotações provocou diminuição no tamanho das gotas e, conseqüentemente, aumento na densidade das manchas sobre as etiquetas. Por outro lado, quando se diminuiu a velocidade de deslocamento do pulverizador, houve tendência a um número maior de impactos atingirem o alvo, o que proporcionou maiores densidades. Desta forma, foi possível obter elevadas densidades de manchas por cm² (150 a 180), trabalhando-se com gotas grandes (490 µm). Normalmente, para obter altas densidades de gotas por superfície tratada, é necessário que se produzam gotas inferiores a 100 µm (MATTHEWS, 2000). Porém, gotas com diâmetros inferiores a 150 µm têm grande probabilidade de não atingir o alvo, por

terem elevado potencial para evaporarem ou de serem carregadas pelo vento, não sendo, portanto, diâmetros recomendados para aplicações de agrotóxicos em geral.

A interação entre rotação e velocidade na porcentagem de cobertura foi significativa, em nível de 5%, pelo teste F. Semelhante ao estudo da densidade de gotas, os coeficientes escolhidos de acordo com a análise de regressão múltipla apresentaram resposta linear e significância em nível de %, pelo teste t. Houve diminuição na porcentagem de cobertura do alvo com o aumento nas velocidades de deslocamento, entretanto, maiores rotações do dispositivo rotativo, proporcionaram maiores porcentagens de coberturas (Figura 6).



*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Figura 6. Porcentagem de cobertura proporcionada pelo pulverizador centrífugo operando em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do dispositivo rotativo.

Obteve-se uma cobertura máxima de 27,06%, quando o pulverizador operou à rotação de 315 rad s⁻¹ e velocidade de 0,5 km h⁻¹, uma combinação em que também se observaram as maiores densidades de gotas por cm². Comumente, gotas grandes não proporcionam adequada cobertura da superfície tratada, o que resulta em distribuição irregular do produto sobre o alvo. Isto se torna um agravante em se tratando de produtos de contato, pois, estes só atuam na área coberta pelo produto, o que pode reduzir a eficácia do agrotóxico.

CONCLUSÕES

Os resultados possibilitaram as seguintes conclusões:

- O sistema de pulverização centrífuga possibilitou a obtenção de espectros e populações de gotas de modo fácil e prático, sendo eficiente para diversas condições de aplicação de agrotóxicos;

- A uniformidade de distribuição volumétrica do pulverizador centrífugo variou entre 10,59 e 17,21%, melhorando à medida que se aumentam as rotações do cone rotativo;
- As densidade e porcentagens máximas de gotas obtidas foram de 180 gotas cm⁻² e 27,06%, respectivamente;
- Densidade de gotas e porcentagem de cobertura apresentaram respostas lineares positivas em relação à rotação do cone rotativo;
- Densidade de gotas e porcentagem de cobertura apresentaram respostas lineares negativas em relação à velocidade do pulverizador centrífugo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOCK, R.; FROEHLICH, D. Analysis of rotary atomizers. **Transactions of the ASAE**. v. 29, n.6, p.1514-1519, 1986.

- BODE, L.E.; BULTER, B.J.; PEARSON, S.L.; BOUSE, L.F. Characteristics of the micromax rotary atomizer. **Transactions of the ASAE**, v. 26, n. 4, p. 999-1005, 1983.
- CORDEIRO C.A.M.; COUTINHO, P.O.; MOTA F.M. AQP – Avaliação da qualidade dos pulverizadores. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, III., 2004. Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: FEPAF, p. 32-35, 2004.
- CORREA, G.H.; HELD J. Produção e utilização de gotas com diâmetro uniforme. **Revista Científica do Instituto Agrônomo. Bragantia**. v. 41, p. 1-7, 1980.
- COSTA, M.A.F. **Avaliação de desempenho operacional de um pulverizador pneumático costal motorizado utilizado no controle de mosquitos vetores de doenças**. 2002. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2002.
- CUNHA, J.P.R. da. Tecnologia de aplicação do chlorothalonil no controle de doenças do feijoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, VIII., 2005. Santo Antônio de Goiás, GO. **Anais...** . Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, p. 619-622, 2005.
- FAROOQ, M.R.; BALACHANDAR, D.; WULFSOHN, W.T.M. Agriculture sprays in cross-flow and drift. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 78, n. 4, p. 347-358, 2001.
- FROST, A.R. Rotary atomization in the ligament formation mode. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 26, n. 1, p. 63-78, 1981.
- HUANG, L.X.; KUMAR K.; MUJUMDAR A.S.A. Comparative study of a spray dryer with rotary disc atomizer and pressure nozzle using computational fluid dynamic simulations. **Chemical Engineering and Processing**. v. 45, p. 461-470, 2006.
- LAGUNA, A. **Maquinaria agrícola. Construcción, funcionamiento, regulaciones y cuidados**. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 361 p., 2000.
- LAW, S.E., Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century. University of Georgia, Athens, USA. **Journal of Electrostatics**, p. 25-42, 2001.
- LUCHINI, L.C. Dinâmica ambiental dos agrotóxicos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, III., 2004. Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: FEPAF, p. 36-39, 2004.
- MATTHEWS, G.A. **Pesticide Application Methods**. 3. ed., Oxford: Blackwell Science, 432 p, 2000.
- MATUO, T. Qualidade em tecnologia de aplicação. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, III., 2004. Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: FEPAF, p.1-2, 2004.
- MURPHY S.D.; MILLER, P.C.H.; PARKIN, C.S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 75, n.3, p. 127-137, 2000.
- RODRIGUES, G.J. **Crêterios rastreáveis na aplicação de inseticida no controle do bicho mineiro do cafeeiro**. 2005. 118p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2005.
- SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SALYANI, M. **Distribution patterns of atomizers**. Citrus Research and Education Center, Flórida. p. 2-8, 1996.
- TEUNOU. E.; PONCELET D. Rotary disc atomization for microencapsulation applications - prediction of the particle trajectories. **Journal of Food Engineering**. v. 71, n.2, p. 345-353, 2005.