

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO PARA ATRAÇÃO DE GOTAS DA APLICAÇÃO ELETROSTÁTICA EM PLANTAS CÍTRICAS

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC DEVICE FOR ATTRACTION DROPS OF THE ELECTROSTATIC SPRAYING IN CITRIC PLANTS

Ronaldo Goulart MAGNO JÚNIOR¹; Mauri Martins TEIXEIRA²; Luciano Baião VIEIRA³; Lino Roberto FERREIRA⁴; Cleyton Batista de ALVARENGA⁵

1. Professor do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Bambuí-Faz., Bambuí, Minas Gerais, Brasil. ronaldoufla@yahoo.com.br; 2. Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil; 3. Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola - UFV, Viçosa-Minas Gerais, Brasil; 4. Professor Associado, Departamento de Fitotecnia – UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil; 5. Doutorando na Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola – UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo desenvolver um dispositivo para promover a atração de gotas carregadas eletricamente para o interior do dossel de plantas cítricas, visando reduzir o impacto ambiental causado pelos agrotóxicos. Foram distribuídos condutores metálicos no interior do dossel das plantas da laranja Pêra, com o propósito de atrair as gotas. Assim como etiquetas hidrossensíveis nos terços superiores, médios e inferiores, em três profundidades do dossel. As pulverizações foram realizadas com e sem carga, combinadas com a presença e ausência do dispositivo proposto. A eficiência da pulverização eletrostática e do dispositivo proposto foi baseada na densidade de gotas que variou de 112 a 147 gotas cm⁻² sem e com carga, respectivamente, e na cobertura que variou de 10,7% a 12, 1% na parte inferior e superior, nas diferentes regiões da planta, não ocorrendo diferenças significativas entre os tratamentos. Em todas as condições estudadas, a maior densidade de gotas e a maior cobertura foram obtidas na parte externa do dossel.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicação de Agrotóxicos. Pulverização eletrostática. Densidade de Gotas.

INTRODUÇÃO

A eficácia do tratamento não está ligada somente ao produto, mas também a qualidade da pulverização, que é influenciada por fatores como: tipo de ponta, pressão, ângulo de pulverização e o volume de calda (MATTHWES, 2004).

Trabalhando com a cultura do arroz, Pessoa e Chaim (1999) verificaram em arroz irrigado, que as perdas giravam em torno de 50 %. A contaminação do solo é comum nos sistemas convencionais de pulverização, devido ao escorrimento da calda. Chaim (2006) concluiu que a contaminação do solo é 20 vezes menor com a pulverização eletrostática, em relação à aplicação convencional. Em estudo comparativo entre os sistemas de aplicação convencional e eletrostático na cultura de tomate, Chaim et al. (2002) demonstraram que o pulverizador eletrostático depositou cerca de 70 % do produto aplicado, enquanto a aplicação convencional 30 %.

Ramos et al. (2007), ao avaliarem o efeito do volume de calda com turbo pulverizadores sobre a deposição e cobertura em folhas, ramos e frutos de citros, trabalhando com 50, 70, 85, 100, 150 e 200% do volume padrão de 28 L por planta, verificaram que o aumento do volume elevou a porcentagem de cobertura nas folhas, ramos e frutos, sendo mais

evidentes em frutos. Os autores também concluíram que apenas em 50% do volume aplicado a deposição foi significativamente menor que os demais, indicando que o volume padrão utilizado pode ser reduzido em até 30 %, sem prejuízo na deposição sobre folhas, ramos e frutos.

Zheng et al. (2002) afirmaram que a pulverização eletrostática depende de algumas características, como a tensão superficial do líquido, sistema de eletrificação de gotas, campo eletrostático, relação carga/massa, tamanho e velocidade das gotas. Afirmaram também que a pulverização eletrostática pode melhorar a distribuição e deposição das gotas na planta, com menor contaminação ambiental, volumes reduzidos de calda, menor custo no processo de pulverização e melhor eficácia de controle do tratamento, em comparação com pulverizadores convencionais.

Comparando dois sistemas de pulverização aérea no controle de plantas daninhas, sistema eletrostático aplicando 10 L ha⁻¹ e pontas hidráulicas aplicando 30 L ha⁻¹, Schoroder e Loeck (2006) verificaram que o sistema eletrostático, além de controlar com mais eficácia, aumentou o rendimento operacional da aeronave em virtude da diminuição no volume de calda em três vezes.

Dependendo do alvo, na tentativa de um bom controle de ácaros, por exemplo, é usado um

volume elevado, cuja calda é aplicada além do ponto de escoamento, em função das dificuldades de cobertura adequada das plantas (FERNADES et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um dispositivo capaz de atrair as gotas geradas por pulverizador eletrostático, a fim de aumentar a penetração das gotas no interior do dossel das plantas e analisar a densidade de gotas e o percentual de cobertura da calda na planta.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em pomar da área experimental de laranja Pêra *Citrus sinensis*

(L.) Orbeck pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa/MG, no período de novembro a dezembro de 2007. Os espaçamentos entre plantas foi 6 x 4 m, a altura e o diâmetro média de 2,8 m e 2,6 m, respectivamente, e presença de frutos com aproximadamente 0,03 m de diâmetro.

A determinação do volume de pulverização para culturas arbóreas pode ser feito com base no Tree Row Volume (volume de vegetação da planta), que consiste em um volume predeterminado em função do volume de vegetação existente num hectare, e da infestação provocado pelas pragas (Tabela 1).

Tabela 1. Índices volumétricos recomendados para pulverização (Viçosa/MG, 2011).

Volume de pulverização	Índice volumétrico (mL m ⁻³)
Muito alto	120
Alto	100
Médio	70
Baixo	50
Muito baixo	30
Ultra baixo	10

Fonte: Virginia cooperative extension service, (1989).

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas, com quatro combinações entre carga elétrica e sistema de aterramento, utilizando delineamento inteiramente

casualizado, com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Em cada unidade experimental foram analisados 18 pontos, formando total de 360 unidades amostrais (Tabela 2).

Tabela 2. Relação dos tratamentos utilizados no experimento. Viçosa/MG, 2011.

Tratamentos	Descrição
CCCA	Com Carga e Com Aterramento
SCCA	Sem Carga e Com Aterramento
CCSA	Com Carga e Som Aterramento
SCSA	Sem Carga e Som Aterramento

As pulverizações foram realizadas em 20 plantas, sendo cinco para cada condição. Foram selecionadas plantas com copas similares e uniformes, procurando-se, reduzir a interferência de fatores relacionados à desuniformidade de copas na análise dos resultados. As pulverizações foram realizadas a 2 m de distância das plantas, com movimentos alternados da lança do pulverizador, no sentido vertical.

No desenvolvimento do dispositivo para captura de gotas foram posicionados condutores elétricos na parte aérea da planta (Figura 1), e estes foram aterrados sob a copa, por meio de hastes metálicas de 1,2 m, e fixados nas plantas e nas hastes, por meio de fita isolante. As pulverizações foram realizadas com o sistema de carga eletrostática, com aterramento e sem aterramento, a

fim de verificar a eficiência do sistema proposto. O objetivo do uso dos condutores foi aumentar a eficiência de deposição no interior do dossel, pois seriam atraídas para o condutor de cobre aterrado, e penetrariam no dossel elevando a eficiência da pulverização.

A eficiência do sistema de aterramento foi avaliada por meio da deposição de gotas e da cobertura da aplicação no dossel das plantas. Para a coleta das gotas foram usadas etiquetas de papel hidrossensível (38 x 26 mm). O fator de espalhamento das gotas proposto por Chaim et al. (1999) foi adotado para obter o diâmetro da mediana volumétrica das gotas, segundo a Equação 1:

$$F = 0,74057 + 0,0001010399D + 0,2024884 \ln(D) \quad (1)$$

em que:

F= fator de espalhamento,
D= diâmetro de cada classe de tamanho de gotas
(μm).

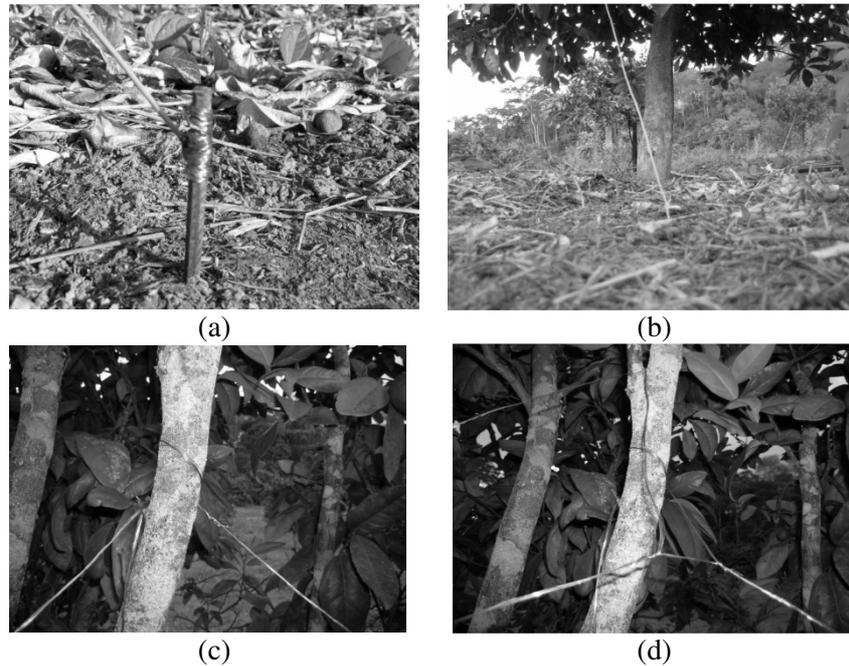


Figura 1. Conductor metálico conectado à haste de aterramento (a), haste aterrada ao solo (b), e condutores metálicos distribuídos no interior do dossel das plantas (c) e (d).

A distribuição das etiquetas hidrossensíveis foi realizada de acordo com metodologia descrita por Derksen e Gray (1995) e Veliz (2007). A planta foi dividida em terços superior, médio e inferior, e cada terço utilizou-se três profundidades, externa (1), média (2) e interna (3), com distância média entre as mesmas de 0,3 m. A planta foi dividida em duas áreas na linha de plantio, e nessas áreas foi colocada uma etiqueta em cada ponto especificado (terço e profundidade).

Imediatamente após a aplicação, as etiquetas foram coletadas e acondicionadas em sacos de papel, separadas de acordo com a posição na planta e levadas para laboratório. Posteriormente, as etiquetas foram fotografadas com câmera digital Nikon Coolpix, 5,2 megapixels e analisadas com o uso do software Imagetool versão 3.0, conforme realizado por Cunha et al. (2005), Rodrigues (2005) e Ruas (2007).

A velocidade do vento foi monitorada com auxílio de um anemômetro digital e as condições operacionais do pulverizador eletrostático, monitoradas periodicamente, através de um multímetro equipado com ponta de prova de alta tensão. A velocidade do vento variou entre 1,9 e 2,5 m s^{-1} , a temperatura entre 25 e 28 °C e umidade relativa na faixa de 68 %.

A avaliação da qualidade da aplicação da calda nas folhas foi realizada a partir da porcentagem de cobertura, densidade de gotas e tamanho das gotas medidas com base no diâmetro da mediana volumétrica. Devido à limitação do protótipo do pulverizador eletrostático utilizado nos ensaios, como a baixa capacidade do depósito de líquido e a baixa vazão de líquidos, foi usado um volume de 458 L ha^{-1} .

A velocidade de deslocamento do pulverizador foi de 0,24 m s^{-1} e a vazão de líquido do pulverizador, foi de 1,9 L min^{-1} . A pulverização foi realizada somente em um lado da planta, com o objetivo de eliminar interferências que pudessem mascarar os resultados, visto que foi usado um pulverizador pneumático.

Os resultados foram digitalizados e analisados pelo programa computacional SAEG 9.1, e submetidos à análise de variância, sendo suas médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As interações entre os fatores tratamento, terço e profundidade, não foram significativas. A diferença significativa encontrada foi dentro dos níveis de profundidade. A população de gotas nas

condições do experimento é apresentada para cada tratamento estudado (Tabela 3).

Tabela 3. Médias da densidade de gotas por tratamento Viçosa/MG, 2011

Tratamento	Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)
CCCA	146,76a
SCSA	112,08a
CCSA	142,46a
SCSA	116,13a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % significância.

A partir da análise dos dados, podemos inferir que nas condições com carga elétrica na gota as médias das deposições foram superiores às condições sem carga elétrica, apesar de não ter ocorrido diferença significativa. Uma das explicações com o uso da pulverização pneumática, a força aerodinâmica do vento pode ter sido maior que a força elétrica induzida na gota.

Outra razão pode ser o tipo de pulverizador usado nos ensaios, uma vez que equipamentos pneumáticos produzem gotas fragmentadas por uma

corrente de ar, que se caracterizam por serem pequenas, com alta energia cinética, e mesmo possuindo massa reduzida, em relação a um pulverizador hidráulico, devido à velocidade com que elas são lançadas (velocidade do fluxo de ar).

A deposição da calda na superfície das folhas é variável, conforme a metodologia de aplicação disponível pelo produtor. No presente trabalho, não houve diferenças entre os terços da planta (Tabela 4).

Tabela 4. Médias da deposição de calda nos diferentes terços da planta (Viçosa/MG, 2011).

Terço	Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)
Superior	131,53a
Médio	127,27a
Inferior	129,98a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % significância.

Em relação à população de gotas nas folhas não foi observada diferenças entre os terços da planta, demonstrando que a pulverização apresentou boa uniformidade de distribuição da calda em toda a planta. Resultados semelhantes foram encontrados por Veliz (2007), trabalhando com pontas hidráulicas e atomizadores rotativos tratorizados em citros. Resultados diferentes foram encontrados por Hoffam e Salyani (1996) e Bayat et al. (1994), onde

as maiores deposições foram na parte baixa da planta. Essas diferenças podem ser em função do volume de calda utilizado nos ensaios.

O terço médio da planta é a uma região de maior diâmetro, composta na sua maioria por folhas maiores que dificultam a penetração das gotas, dificultando a chegada das mesmas no interior da copa, afetando a deposição da calda contendo o agrotóxico (Tabela 5).

Tabela 5. Médias da população de gotas no interior da copa da planta (Viçosa/MG, 2011).

Profundidade	Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)
1	161,94a
2	122,41b
3	103,72b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % significância.

As maiores deposições foram na parte externa da planta, devido à maior facilidade na chegada das gotas. Em posições mais internas a maior densidade foliar interferiu no número de gotas depositadas nas folhas. Entretanto, a densidade de gotas foi satisfatória, de acordo com as recomendações de Barthelemy et al. (1990), que preconiza 50 a 70 gotas para controle de fungos. Os resultados indicam que quando o alvo estiver no

interior do dossel das plantas, a deposição fica prejudicada em relação a um alvo na parte externa das plantas. Observou-se também a necessidade de melhorias no pulverizador eletrostático desenvolvido, assim como do dispositivo proposto para melhor atração das gotas para o interior do dossel.

Em relação à percentagem de cobertura, não houve interação significativa entre os fatores

avaliados (tratamento, terço e profundidade). Apenas a profundidade apresentou diferenças significativas da cobertura de pulverização. Os

percentuais médios de cobertura com e sem o sistema eletrostático não apresentaram diferenças significativas (Tabela 6).

Tabela 6. Valores das médias de cobertura nas diferentes condições de realização dos ensaios (Viçosa, MG/2011).

Tratamento	Percentagem de cobertura (%)
CCCA	11,38a
SCSA	10,19a
CCSA	11,68a
SCSA	10,95a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % significância.

Os resultados são semelhantes aos encontrados por Silva et al. (2000) na cultura do algodoeiro, os percentuais de cobertura não apresentaram diferenças em relação aos terços da planta (Tabela 7). Observou-se um ligeiro aumento

na percentagem de cobertura do terço superior. Resultados semelhantes foram encontrados por Chaim et al. (2003) na cultura da maçã, e por Scramim et al. (2002) no algodoeiro e no tomateiro.

Tabela 7. Valores médios da cobertura nos diferentes terços da planta (Viçosa/MG, 2011).

Terço	Percentagem de cobertura (%)
Superior	12,12a
Médio	10,28a
Inferior	10,75a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % significância.

A profundidade foi a característica que influenciou a percentagem de cobertura das gotas nas diferentes posições da planta (Tabela 8). A cobertura na parte externa das plantas (profundidade 1) foi superior às demais profundidades. Tal fato se explica pela exposição direta da planta às gotas

pulverizadas. Constatou-se que a massa de folhas contribui para a redução no percentual de cobertura no interior do dossel. Escola et al. (2006) denominaram este efeito das folhas sobre a penetração das gotas de “efeito parede” que dificulta a cobertura das folhas.

Tabela 8. Cobertura média da aplicação nas profundidades estudadas. Viçosa/MG, 2011.

Profundidade	Percentagem de cobertura (%)
1	16,74a
2	10,05b
3	6,36c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % significância.

Um grande número de trabalhos de pesquisas tem demonstrado que a utilização de gotas pequenas tem melhorado os resultados no controle fitossanitário. Entretanto, sabe-se que essas gotas apresentam menores massas, e conseqüentemente, pouca energia cinética, resultando em maior suscetibilidade a deriva e baixas capturas pelos alvos. Deste modo, Serra et al. (2008) afirmam que, as vantagens esperadas de maior eficiência de utilização de gotas pequenas somente se verificam em condições especiais. A pulverização eletrostática tem se destacado como uma boa alternativa com perdas reduzidas de gotas pequenas.

CONCLUSÕES

Não houve influência do dispositivo eletrônico proposto a penetração de gotas no interior do dossel das plantas.

A densidade de gotas e a percentagem de cobertura na parte externa do dossel foram superiores às das demais profundidades.

Os valores da cobertura foram diferentes nos três níveis de profundidade estudados.

ABSTRACT: This study aimed to develop a device to promote the attraction of electrically charged droplets to the inner part of the citrus plants, to reduce the environmental impact caused by pesticides. Metallic conductors were distributed in the inner part of the orange Pear canopy, in order to attract the droplets. Water sensitive papers were distributed onto the upper, middle and bottom part of the plant, at three different depths of the canopy. The spraying was performed with and without charging, combined with the presence and absence of the proposed device. The efficiency of electrostatic spraying and the mechanism proposed was based onto the droplets density ranging from 112.08 to 146.76 cm⁻² droplets with and without charging, respectively, and onto the coverage ranged from 10.75 to 12.12 % in the inner and superior part, in different regions of the plant, not occurring significant difference between the treatments. In all conditions studied, the highest droplets density and coverage were obtained on the outer part of the canopy.

KEYWORDS: Pesticide Application. Electrostatic Spraying. Droplets Density.

REFERÊNCIAS

- BAYAT, A.; ZEREN, Y.; ULUSPY, M. R. Spray deposition with conventional and electrostatically-charged spraying in citrus trees. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa And Latin America**, v. 25, n. 4, p. 35-39, 1994.
- BARTHELEMY, P.; BOISGOINTER, D.; JOUY, L.; LAJOUX, P. **Choisir les outils de pulverisation**. Paris: Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 1990. 160p.
- CHAIM, A.; MAIA, A. H. N.; PESSOA, M. C. P. Y. Estimativa da deposição de agrotóxicos por análise de gotas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 963-969, 1999.
- CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Eficiência de deposição de agrotóxicos, obtida com bocal eletrostático para pulverizador motorizado costal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 497-501, 2002.
- CHAIM, A.; BOTTON, M.; SCRAMIN, S.; PESSOA, M. C. P. Y.; SANHUEZA, R. M. V.; KOVALESKI, A. Deposição de agrotóxicos pulverizados na cultura da maçã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 889-892, 2003.
- CHAIM, A. **Pulverização eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 18 p.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C. Deposição e deriva de calda fungicida aplicada em feijoeiro, em função de bico de pulverização e de volume de calda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 133-138, 2005.
- DERKSEN, R. C.; GRAY, R. L. Deposition and air speed patterns of air-carrier apple orchard sprayers. **Transactions of The ASAE**, v. 38, n. 1, p. 5-11, 1995.
- ESCOLA, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; GARCIA, F.; ROSSE, J. R.; GIL, E.; VAL, L. Spray application volume in apple pear orchards in catalonia (spain) and variable rate technology for dose adjustment. **ASAE**, 2006. (Paper nº 061620).
- FERNANDES, A. P.; FERREIRA, M. C.; MARTINELLI, N. M. Mortalidade do ácaro *Brevipalpus phoenicis* em função da cobertura de pulverização de acaricidas, com e sem adjuvantes, em mudas de café. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 80, n. 2, p. 173-187, 2005.
- HOFFMANN, W. C.; SALYANI, M. Spray deposition on citrus canopies under different meteorological conditions. **Transactions of the ASAE**, v. 39, n. 1, p. 17-22, 1996.
- MATTHWES, G. A. How was the pesticide applied. **Crop Protection**. v. 23 n. 7, p. 651-653, 2004.

- PESSOA, M. C. P. Y.; CHAIM, A. Programa computacional para estimativa de uniformidade de gotas de herbicidas aplicados por pulverização aérea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 45-56, 1999.
- RAMOS, H. H.; YANAI, K.; CORREA, I. M.; BASSANESSI, R. B.; GARCIA, L. C. Características da Pulverização em Citros em Função do Volume de Calda Aplicado com Turbopulverizador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 56-65, 2007.
- RODRIGUES, G. J. **Crítérios rastreáveis na aplicação de inseticida no controle do bicho mineiro do cafeeiro**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- RUAS, R. A. A. **Tecnologia de aplicação de glyphosate para certificação de produtos agrícolas**. 2007. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- SERRA, M. E.; CHAIM, A.; RAETANO, C. G. Pontas de pulverização e eletrificação das gotas na deposição da calda em plantas de Crisântemo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 479-485, 2008.
- SCRAMINS, S.; CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L.; PAVAN, L. A.; ALVARENGA, N. Avaliação de bicos de pulverização de agrotóxicos na cultura do algodão. **Pesticidas Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 12, p. 43-50, 2002.
- SCHRODER, E. P.; LOECK, A. E. Avaliação do sistema de pulverização eletrostática aérea na redução do volume de calda e dosagem do herbicida glifosate. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 319-323, 2006.
- SILVA, O. R. R. F.; CARVALHO, O. S.; MARQUES, L. Determinação das perdas por escorrimento da pulverização eletrostática e convencional sobre o cultivo do algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p.123-130, 2000.
- VELIZ, R. D. C. **Avaliação de dois sistemas para aplicação de agrotóxicos em citros**. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.
- Virginia and West Wirginia Cooperative Extension Services 1989-1990. **Spray Bulletin for Commercial Tree Fruit Growers**. Publ. 456-419. West Virginia University. Morgantown, 1989 117 pp.
- ZHENG, J.; ZHOU, H.; XU, Y. Advances in pesticide electrostatic spraying in China. St. Joseph, Mich.: **ASAE**, 2002. (Paper nº 021034).