

DISTRIBUIÇÃO VOLUMÉTRICA DE PONTAS DE PULVERIZAÇÃO DE JATO CÔNICO VAZIO COM INDUÇÃO DE AR ANALISADA EM MESA DE PROVA E SIMULAÇÃO COMPUTADORIZADA

João Paulo A. Rodrigues da Cunha¹
Renato A. A. Ruas²
Mauri M. Teixeira²

RESUMO

O padrão de deposição volumétrica é um parâmetro importante na seleção da ponta de pulverização em aplicações de agrotóxico. Este trabalho teve como objetivo avaliar, em laboratório, a uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato cônico vazio com indução de ar nas pressões de 400, 500 e 600 kPa e alturas da barra porta-bicos de 40, 50 e 60 cm. Determinaram-se o perfil de distribuição individual e o coeficiente de variação da distribuição volumétrica conjunta das pontas TVI 80-015 e TVI 80-02, recém-lançadas no mercado. A simulação computacional da distribuição volumétrica conjunta das pontas avaliadas, obtida a partir do padrão de deposição individual, não representou de forma fiel os dados obtidos na mesa de prova, devendo ser, portanto, evitada para avaliações de pontas de jato cônico em configurações em que ocorra encontro de jatos adjacentes. De acordo com os resultados em mesa de prova, pode-se concluir que as pontas avaliadas apresentaram baixa uniformidade de distribuição volumétrica, com coeficiente de variação superior a 18%, considerando o espaçamento entre bicos de 50 cm. A uniformidade de distribuição volumétrica foi influenciada pela vazão nominal, pela pressão do líquido e pela altura da barra porta-bicos.

Palavras-chave: Bicos de pulverização, tecnologia de aplicação, pulverizador.

ABSTRACT

SPRAY DISTRIBUTION PATTERN OF AIR INDUCTION HOLLOW CONE NOZZLES EVALUATED BY A PATTERNATOR AND COMPUTER SIMULATION

ABSTRACT: The knowledge of the volumetric distribution pattern is important for pesticide spray nozzle selection. Thus, the aim of this paper was to evaluate, in laboratory, the volumetric distribution of air induction hollow cone spray nozzles, under liquid pressures of 400, 500 and 600 kPa and boom heights of 40, 50 and 60 cm. The distribution profile and the coefficient of variation of the volumetric distribution was determined in TVI 80-015 and TVI 80-02 nozzles, recently introduced on the market. The computer simulation of the volumetric distribution, obtained from the individual deposition profile, did not model the data obtained with the patternator. Therefore, it should be avoided for evaluations of hollow cone nozzles in configurations with spray overlap. The nozzles presented low distribution uniformity, with the coefficient of variation over 18%, for width between nozzles of 50 cm. The distribution uniformity was influenced by the nominal flow, by the liquid pressure and by the boom height.

Keywords: Spray nozzles, application technology, sprayer.

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Campus Umuarama, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil. E-mail: jpcunha@iciag.ufu.br

² Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: raaruas@yahoo.com.br, mauri@ufv.br

INTRODUÇÃO

As pontas de pulverização podem ser consideradas um dos componentes mais importantes dos equipamentos para aplicação de agrotóxicos, por determinar as características do jato emitido, regular a vazão e controlar o tamanho das gotas. Segundo Sidahmed (1998), essas pontas, além de fragmentar o líquido em pequenas gotas, têm como função distribuí-las uniformemente sobre o alvo desejado.

Atualmente, existem no mercado pontas de pulverização hidráulicas de vários tipos e usos definidos para diferentes e específicas condições técnicas operacionais. Diversos trabalhos têm sido feitos para avaliar as características dessas pontas (Bauer & Raetano, 2004; Cunha & Teixeira, 2001; Freitas *et al.*, 2005); no entanto, alguns tipos ainda carecem de informações que auxiliem em sua seleção, como as pontas com indução de ar. É grande seu potencial de uso, principalmente no meio ambiente, contudo seu desempenho operacional ainda não é totalmente conhecido (Butler-Ellis *et al.*, 2002; Zhu *et al.*, 2004).

As pontas com potencial de redução de deriva e como as de indução de ar são importante ferramenta para minimizar os problemas ocasionados pela aplicação de agrotóxicos na proteção dos cultivos (Lesnik *et al.*, 2005). Nos últimos anos vários tipos de pontas antiderivas têm sido lançados no mercado. Recentemente, foi introduzida a comercialização de pontas de jato cônico vazio com indução de ar.

As pontas de jato cônico convencional são tradicionalmente recomendadas para aplicação de inseticidas e fungicidas em culturas com grande massa foliar, em que a penetração do jato e a cobertura são essenciais (Márquez, 1997; Srivastava *et al.*, 1993; Wilkinson *et al.*, 1999). No entanto, seu uso tem sido abandonado pelos agricultores em virtude da deriva ocasionada pelo grande número de gotas de tamanho reduzido (gotas finas a muito finas). A indução de ar introduzida nos novos modelos permite a formação de gotas maiores, menos susceptíveis à deriva (Matthews, 1999). Se por um lado reduz-se a deriva, por outro pode-se diminuir a eficácia dos tratamentos. Zhu *et al.* (2004) mostram, porém, que, apesar das gotas produzidas por esse tipo de ponta serem de maior diâmetro, há boa capacidade de cobertura e penetração nas plantas.

Essas pontas caracterizam-se pela formação de um jato em que as gotas formam um cone, podendo ser cheio ou vazio. Para isso, dispõem de um helicóide (anel de

turbilhonamento), de uma câmara de turbulência e de um orifício de saída com diâmetro determinado. O helicóide encarrega-se de repartir o líquido, fazendo-o passar através de uma série de canais helicoidais, de maneira a produzir um redemoinho na câmara de turbulência, saindo, assim, pelo orifício calibrado da ponta (Cañavate & Hernanz, 1989). Isso propicia melhor recobrimento do dossel da planta. Com esse movimento circular, as gotas contornam obstáculos e atingem pontos situados em planos posteriores (Zhu *et al.*, 2004).

Como desvantagem, essas pontas apresentam maior deposição de líquido na porção mais externa do cone, ocasionando um perfil de distribuição irregular, o que dificulta sua utilização em barra de pulverização. No entanto, Cunha *et al.* (2004), avaliando a uniformidade de distribuição de pontas de jato cônico sem indução de ar, mostraram que as de menor vazão nominal, em determinadas condições operacionais, podem apresentar boa uniformidade de distribuição.

O volume de calda aplicado durante a pulverização deve ser o mais uniforme possível, sob pena de ser necessário volume adicional para compensar os pontos ou as faixas que receberam menor quantidade de calda (Perecin *et al.*, 1998). Cobertura homogênea pressupõe distribuição uniforme, caracterizada por baixos coeficientes de variação na distribuição volumétrica superficial, tanto no sentido longitudinal como no transversal.

A uniformidade transversal depende da ponta utilizada, da sobreposição dos jatos e da posição e vibração da barra porta-bicos em relação ao plano de tratamento (Barthelemy *et al.*, 1990). Segundo Langenakens (1999), um coeficiente de variação na distribuição volumétrica superficial abaixo de 10% indica uniformidade satisfatória. Na Europa, em laboratório, para a pressão e altura estabelecidas pelo fabricante como ideais para cada ponta, o coeficiente de variação deve ser inferior a 7%. Para as demais, não deve exceder a 9% (ECS, 1997).

Matthews (2002) afirma que cada ponta possui uma característica própria de distribuição volumétrica, sendo essa específica para cada condição de altura do bico em relação ao alvo e de espaçamento entre bicos na barra. Portanto, é preciso estudar o comportamento das pontas em diferentes condições de trabalho.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar, em laboratório, a uniformidade de distribuição

volumétrica de pontas de pulverização de jato cônico vazio com indução de ar, com diferentes pressões de trabalho e alturas da barra porta-bicos em relação ao alvo, empregando-se mesa de prova e simulação computadorizada.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Avaliaram-se dois jogos de pontas de pulverização hidráulica (Tabela 1), tipo jato cônico vazio com indução de ar, com ângulo nominal de abertura do jato de 80°, a 500 kPa de pressão, modelos TVI 80-015 e TVI 80-02. As pontas fabricadas em poliacetal com núcleo de cerâmica, de acordo com o fabricante, são indicadas para aplicação de fungicidas e inseticidas.

As avaliações foram feitas em ambiente protegido, empregando-se como líquido de pulverização a água da rede pública em temperatura ambiente, de acordo com a prescrição da Organização Internacional de Normatização (ISO, 1981). As condições ambientais foram: temperatura do ar inferior a 24°C, umidade relativa do ar superior a 69% e ausência de ventos.

Nos ensaios de distribuição volumétrica, empregaram-se as pontas individualmente para determinar o padrão de deposição individual e, posteriormente, em conjunto de cinco pontas espaçadas de 50 cm. Estas foram montadas em uma barra porta-bicos sobre uma mesa de prova padronizada, de acordo com a norma ISO 5682 (ISO, 1986). A mesa de prova tinha as seguintes dimensões: 200 cm de comprimento por 100 cm de largura, com canaletas em forma de “V” com 5 cm de profundidade e de largura. As pontas foram alimentadas por uma bomba de pistão acionada por um motor elétrico de 220 V e 2,2 kW de potência.

Coletou-se o volume do líquido recolhido nas provetas alinhadas com as canaletas, ao longo da faixa de deposição das pontas, durante 60 segundos. Posteriormente, os volumes de cada proveta foram trans-

formados em porcentagem do volume total pulverizado, buscando-se eliminar o fator tempo dos dados analisados. Trabalhou-se com altura da barra de 40, 50 e 60 cm em relação à mesa de prova e pressões de 400, 500 e 600 kPa. O perfil de distribuição de cada ponta ensaiada individualmente foi comparado por meio de gráficos plotados com dados de posição e volume acumulado.

A homogeneidade de distribuição volumétrica transversal proporcionada pelo conjunto das pontas montadas na barra foi avaliada com base no coeficiente de variação (Equação 1). Quanto maior este, maior a variação da distribuição e menor a uniformidade de aplicação (Debouche *et al.*, 2000):

$$CV = \frac{100 s}{m} \quad (1)$$

em que:

CV = coeficiente de variação, %;

s = desvio-padrão dos volumes coletados nas provetas;

m = média dos volumes coletados nas provetas.

O perfil de distribuição individual de cada ponta de pulverização foi determinado empregando-se 15 repetições. Foram realizadas três repetições para cinco pontas escolhidas ao acaso de uma amostra comercial. A análise do coeficiente de variação da distribuição volumétrica, para cada ponta, foi feita utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3 (três pressões e três alturas da barra). Utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de significância, para a comparação das médias entre tratamentos.

Os manômetros empregados, com capacidade nominal de 2.059,4 kPa (21 kgf cm⁻²) e resolução de 98,1 kPa (1 kgf cm⁻²), foram previamente calibrados por meio de uma estrutura de reação dotada de massas-padrão para obter a relação entre as pressões indicada e real.

Tabela 1 - Especificação das pontas de pulverização de jato cônico vazio com indução de ar na pressão de operação de 500 kPa

Modelo	Ângulo de pulverização*	Diâmetro da mediana volumétrica*	Vazão nominal*
TVI 80-015 (Verde)	80°	646 µm	0,77 L min ⁻¹
TVI 80-02 (Amarelo)	80°	635 µm	1,03 L min ⁻¹

* Indicado pelo fabricante.

Como complemento das avaliações de laboratório, determinou-se o coeficiente de variação da distribuição volumétrica simulado a partir do padrão individual de distribuição, com o objetivo de verificar sua correlação com os dados obtidos na avaliação conjunta das pontas na mesa de prova.

De posse dos dados do perfil de distribuição individual de cada ponta, fez-se o estudo de sobreposição, considerando as diferentes pressões e alturas da barra. Para isso, desenvolveu-se um programa computacional para simular o coeficiente de variação da distribuição volumétrica conjunta das pontas em função do perfil individual.

O programa considera o número de provetas em que houve deposição volumétrica durante as pulverizações. Sabendo-se, então, que o líquido contido em cada proveta corresponde ao volume proveniente de cada canaleta coletora de 5 cm de largura, faz-se a simulação de uma barra hipotética em que se permite trabalhar com sobreposições de jatos variáveis, em razão do espaçamento entre bicos e da altura da barra.

Com relação à simulação das pontas em barra total a partir do ensaio de pontas isoladas, Percin *et al.* (1998) relatam que esse procedimento é aceitável do ponto de vista estatístico, uma vez que os fatores das variabilidades sistemática e aleatória são dependentes de causas

diferentes. Bauer & Raetano (2004) adotaram procedimentos de simulação semelhantes.

Para a comparação dos dados de uniformidade de distribuição simulados com os obtidos na mesa de prova, utilizou-se o teste t de Student, a 1% de significância. Após a verificação da homogeneidade da variância dos dados pelo teste F, compararam-se os coeficientes de variação simulado e medido em bancada, dois a dois, para cada condição de altura e pressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os perfis de distribuição volumétrica das pontas de pulverização avaliadas, trabalhando isoladamente em diferentes pressões e alturas da barra. As pontas apresentaram um perfil característico, influenciado pela vazão nominal, altura da barra e pressão de trabalho. De maneira geral, elas proporcionaram perfis irregulares, com depressão na zona central e picos nas extremidades, o que dificulta a uniformidade de distribuição em tratamentos em área total. Esse resultado está de acordo com os dados apresentados por Márquez (1997) e Teixeira (1997). Além disso, a depressão na zona central reduz a uniformidade de distribuição, mesmo não ocorrendo sobreposição entre pontas adjacentes na bar-

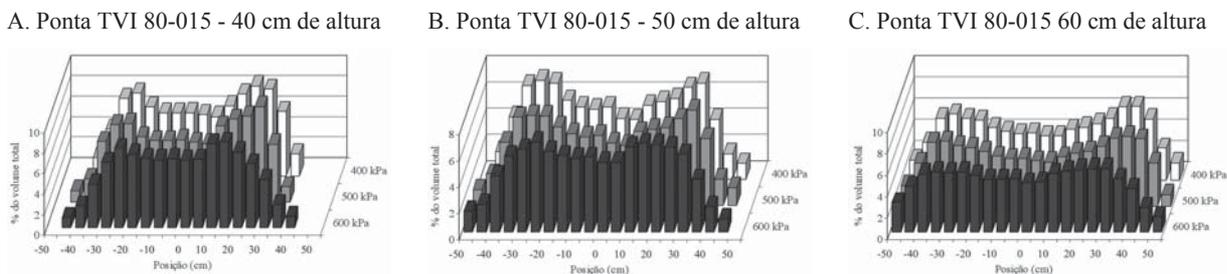


Figura 1 - Perfis de distribuição volumétrica (volume versus posição) produzidos pela ponta hidráulica de jato cônico vazio com indução de ar, modelo TVI 80-015, sob trabalho isolado, em diferentes pressões e alturas em relação ao alvo.

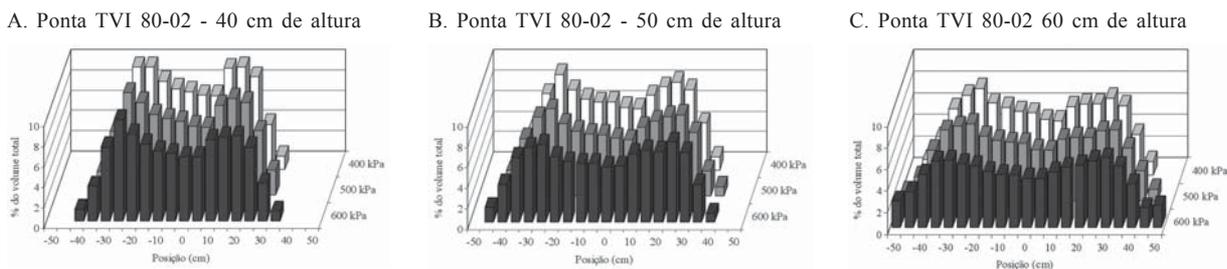


Figura 2 - Perfis de distribuição volumétrica (volume versus posição) produzidos pela ponta hidráulica de jato cônico vazio com indução de ar, modelo TVI 80-02, sob trabalho isolado, em diferentes pressões e alturas em relação ao alvo.

Tabela 2 - Coeficiente de variação da distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato cônico vazio com indução de ar, medido em mesa de prova, em função da altura da barra porta-bicos e da pressão do líquido

Ponta	Pressão (kPa)	Coeficiente de variação* (%)		
		Altura (cm)		
		40	50	60
TVI 80-015	400	39,2Aa	35,3Ba	25,0Ca
	500	39,9Aa	35,1Ba	25,3Ca
	600	29,4Ab	29,9Ab	18,7Bb
TVI 80-02	400	25,4Cc	40,3Aa	39,1Ba
	500	32,7Bb	39,1Ab	32,2Bb
	600	38,2Aa	37,7Ac	26,9Bc

* Para cada ponta, médias seguidas da mesma letra maiúscula, nas linhas, e minúscula, nas colunas, não diferem significativamente entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Tabela 3 - Coeficiente de variação da distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato cônico vazio com indução de ar, simulado a partir do padrão individual de distribuição, em função da altura da barra porta-bicos e da pressão do líquido

Ponta	Pressão (kPa)	Coeficiente de variação* (%)		
		Altura (cm)		
		40	50	60
TVI 80-015	400	44,2	36,3	20,9
	500	42,8	31,5	19,1
	600	28,7	28,1	17,6
TVI 80-02	400	26,9	41,2	37,4
	500	35,6	41,5	30,8
	600	39,2	38,0	21,5

* O coeficiente de variação simulado, para cada condição de altura e pressão, diferiu estatisticamente do medido na mesa de prova, pelo teste t de Student ($p < 0,01$).

ra porta-bicos, devido ao fato de ocasionar picos e depressões ao longo da faixa pulverizada.

Em geral, para a obtenção de uniformidade de distribuição, as pontas devem apresentar um perfil triangular e simétrico, o que permite sobreposição adequada dos jatos de pulverização adjacentes. O incremento da pressão e da altura de trabalho aumentou a faixa de deposição, tendendo a reduzir os picos das extremidades na aplicação, o que pode melhorar a uniformidade de distribuição. As pontas avaliadas permitem o trabalho com pressões até 2.500 kPa, no entanto, pressões dessa magnitude tendem a desgastar o circuito hidráulico dos pulverizadores.

Na Tabela 2, observa-se o efeito da altura da barra porta-bicos e da pressão de trabalho sobre o coeficiente de variação da distribuição volumétrica conjunta das

pontas, medido em laboratório. Em todas as situações avaliadas, não ocorreu uniformidade de distribuição, ficando o coeficiente de variação entre 18,7% e 40,3%. Esse resultado deve-se ao perfil de distribuição individual das pontas. A sobreposição obtida com o espaçamento testado entre bicos (50 cm) não permitiu a homogeneização do perfil ao longo da barra. Assim, torna-se recomendável estudar a uniformidade de distribuição de líquido das pontas avaliadas, considerando espaçamentos entre bicos diferentes de 50 cm.

Para a ponta de pulverização modelo 80-015, as melhores condições de trabalho ocorreram operando com pressões e alturas da barra mais elevadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha *et al.* (2004) e Faqiri & Krishnan (2001). Na ponta 80-02, o incremento da pressão melhorou a uniformidade de distribuição,

operando nas alturas de 50 e 60 cm, mas na altura de 40 cm a influência ocorreu de forma inversa.

Na Tabela 3, são mostrados os coeficientes de variação da distribuição volumétrica simulados a partir do padrão individual de distribuição das pontas TVI. As médias simuladas diferiram estatisticamente das avaliadas na mesa de prova (Tabela 2), pelo teste t de Student ($p < 0,01$), para cada condição de pressão e altura da barra. Isso indica que a simulação, no caso das pontas de jato cônico vazio, não é recomendada para os estudos sobre predição da distribuição volumétrica quando há o encontro dos jatos de pulverização sob a barra. Esse encontro, que ocorre na prática e que na simulação não é representado, gera a alteração do perfil de distribuição, impedindo que o recurso computacional da simulação seja empregado. Sinfort *et al.* (1994) detalham a forma como ocorre essa alteração do perfil de distribuição ocasionada pela sobreposição física dos jatos de pulverização.

Debouche *et al.* (2000) desenvolveram um trabalho para comparar o coeficiente de variação simulado e medido em bancadas de ensaio de forma semelhante à deste estudo. Apesar de terem trabalhado com pontas de jato plano, eles também concluíram que a simulação nem sempre representa a uniformidade de distribuição. É preciso verificar experimentalmente a relação entre o coeficiente de variação simulado e o medido em laboratório.

CONCLUSÕES

- A uniformidade de distribuição volumétrica das pontas de pulverização modelo TVI foi influenciada pela sua vazão nominal, pela pressão do líquido e pela altura da barra porta-bicos.
- As pontas avaliadas apresentaram desuniformidade de distribuição volumétrica, com coeficientes de variação superiores a 18%, considerando o espaçamento entre bicos de 50 cm e as pressões de 400, 500 e 600 kPa.
- A simulação da distribuição volumétrica conjunta das pontas avaliadas não representou os dados obtidos na mesa de prova, devendo ser, portanto, evitada em avaliações de pontas de jato cônico em configurações com encontro dos jatos adjacentes.

REFERÊNCIAS

- Barthelemy P, Boisgointer D, Jouy L & Lajoux P (1990) Choisir les outils de pulvérisation. Paris, Institut Technique des Céréales et des Fourrages. 160p.
- Bauer F & Raetano CG (2004) Perfis de distribuição volumétrica de pontas XR11003 e TXVK-4 em diferentes condições de pulverização. Engenharia Agrícola, 24:364-373.
- Butler-Ellis MC, Swan T, Miller PCH, Waddelow S, Bradley A & Tuck CR (2002) Design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. Biosystems Engineering, 82:289-296.
- Cañavate JO & Hernanz JL (1989) Técnica de la mecanización agrária. Madrid, Mundi-Prensa. 641p.
- Cunha JPAR & Teixeira MM (2001) Características técnicas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 5:44-348.
- Cunha JPAR, Teixeira MM, Vieira RF & Fernandes HC (2004) Uniformidade de distribuição de líquido por bicos de pulverização de jato plano e de jato cônico vazio. Engenharia na Agricultura, 12:192-202.
- Debouche C, Huyghebaert B & Mostade O (2000) Simulated and measured coefficients of variation for the spray distribution under a static spray boom. Journal of Agricultural Engineering Research, 76:381-388.
- ECS - European Committee for Standardization (1997) Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 2: Low crop sprayers. Brussels, CEN. 17p. (prEN 12761-2:1997).
- Faqiri NI & Krishnan P (2001) Effect of nozzle pressure and wind condition on spray pattern displacement of RF5 and 110-5R nozzles. St. Joseph, ASAE. 13p. (ASAE Paper n.01-1123).
- Freitas FCL, Teixeira MM, Ferreira LR, Ferreira FA, Machado AFL & Viana RG (2005) Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. Planta Daninha, 23:164-167.
- ISO - International Organization for Standardization (1981) Equipment for crop protection: spraying equipment. Part 1: test methods of sprayer nozzles. Geneva, ISO. 16p. (ISO 5682/1).
- ISO - International Organization for Standardization (1986) Equipment for crop protection - Spraying equipment. Part 2: test methods for agricultural sprayers. Geneva, ISO. 5p. (ISO 5682/2).
- Langenakens J (1999) Spraying nozzles: usability limits. St. Joseph, ASAE. 9p. (ASAE Paper n.99-1027).
- Lesnik M, Pintar C, Lobnik A & Kolar M (2005) Comparison of the effectiveness of standard and drift-reducing nozzles for control of some pests of apple. Crop Protection, 24:93-100.
- Márquez L (1997) Tecnología para la aplicación de defensivos agrícolas. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande. Anais, SBEA. Cd-Rom. (Palestra).
- Matthews GA (1999) Application of pesticides to crops. London, Imperial College Press. 325p.

- Matthews GA (2002) The application of chemicals for plant disease control. In: Waller JM, Lenné JM & Waller SJ (Eds.) Plant pathologist's pocketbook. London, CAB. p.345-353.
- Perecin D, Peressin VA, Matuo T, Braz BA & Pio LC (1998) Padrões de distribuição de líquidos obtidos com bicos TF-VS4, TJ60-11006 e TQ 15006 em mesa de prova. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 33:175-182.
- Sidahmed MM (1998) Analytical comparison of force and energy balance methods for characterizing sprays from hydraulic nozzles. Transactions of the ASAE, 41:531-536.
- Sinfort C, Miralles A, Sevilla F & Maniere GM (1994) Study and development of a test method for spray boom suspensions. Journal of Agricultural Engineering Research, 59:245-252.
- Srivastava AK, Goering CE & Rohrbach RP (1993) Chemical Application. In: Engineering principles of agricultural machines. St. Joseph, ASAE. p.265-324.
- Teixeira MM (1997) Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica. Tese de doutorado. Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 310p.
- Wilkinson R, Balsari P & Oberti R (1999) Pest control equipment. In: Stout, BA (Ed.) CIGR handbook of agricultural engineering. Vol. 3. St. Joseph, ASAE. p.269-310.
- Zhu H, Dorner JW, Rowland DL, Derksen RC & Ozkan HE (2004) Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. Biosystems Engineering, 87:275-283.