



## Determinação do ângulo do jorro de pontas hidráulicas utilizando métodos convencionais e processamento digital de imagens

Diego Weslly Ferreira do Nascimento SANTOS<sup>1\*</sup>, Paulo Roberto FORASTIERE<sup>1</sup>, Flávio Souza SANTOS<sup>1</sup>, Remo Macieira SILVA<sup>1</sup>, Tiago Mencaroni GUAZZELLI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Máquinas e Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

\* E-mail: diegoweslley89@gmail.com

Recebido em janeiro/2017; Aceito em março/2017.

**RESUMO:** A alteração do ângulo de pontas hidráulicas pode provocar uma má aplicação de defensivos agrícolas, porém não existe uma maneira simples e rápida para mensurar tal característica. O presente trabalho tem como objetivo calcular o ângulo do jorro produzido por pontas hidráulicas, em diferentes pressões de trabalho, por meio de dois métodos convencionais (goniômetro e mesa de perfil de distribuição) e por processamento digital de imagens em distintas resoluções. Para o primeiro método foi utilizado um goniômetro da marca Mitutoyo. A mesa de perfil de distribuição era constituída por canaletas equidistantes em 0,05 m, que conduziam o líquido até as provetas graduadas. Para determinação do ângulo do jorro por meio do processamento de imagens foi capturado fotos nas resoluções de 20; 10; 5 MP e VGA, sendo as mesmas processadas no software MATLAB<sup>®</sup>. Os resultados obtidos mediante a mesa de perfil de distribuição foram estaticamente superiores aos demais métodos. O aumento da pressão de trabalho provocou acréscimos significativos no ângulo do jorro da ponta Hypro, no entanto para a ponta Jacto só ocorreu acréscimo significativo quando o ângulo foi calculado com a mesa de perfil de distribuição. A determinação do ângulo do jorro de pontas hidráulicas por processamento digitais de imagens demonstra-se como uma ferramenta eficiente.

**Palavras-chave:** aplicação de defensivos, resolução digital, programação, jato de pulverização.

### Determination of the angle of the spout of hydraulic tips using conventional methods and digital image processing

**ABSTRACT:** Changing the angle of hydraulic tips can lead to poor application of pesticides, but there is no simple and quick way to measure this. The objective of the present work is to calculate the angle of the spurt produced by hydraulic tips, in different working pressures, by means of two conventional methods (goniometer and table of distribution profile) and digital processing of images in different resolutions. For the first method a goniometer of the Mitutoyo brand was used. The distribution profile table consisted of channels equidistant at 0.05 m, which led the liquid to the graduated test tubes. To determine the angle of the spurt by means of the image processing was captured photos in the resolutions of 20; 10; 5 MP and VGA, being processed in MATLAB<sup>®</sup> software. The results obtained through the distribution profile table were statically superior to the other methods. The increase in working pressure caused significant increases in the jet angle of the Hypro tip, however for the Jet tip only significant increase occurred when the angle was calculated with the distribution profile table. The determination of the angle of the spout of hydraulic tips by digital image processing proves to be an efficient tool.

**Keywords:** application of pesticides, digital resolution, programming, spray jet.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de alimentos e o sucesso do mercado agrícola são dependentes de inovações tecnológicas e da utilização de defensivos, que contribuem diretamente para uma elevada produtividade e qualidade do produto final. Dessa forma, se faz necessária à sanidade da lavoura e, nesse sentido, o uso correto dos defensivos agrícolas se torna um aliado da alta produtividade das culturas.

Entre as diferentes técnicas de aplicação de defensivos agrícolas, as que se baseiam na pulverização hidráulica são

as mais difundidas, graças à flexibilidade que oferecem em diferentes situações (ALVARENGA; CUNHA, 2010). As pontas de pulverização representam um dos principais componentes dos pulverizadores hidráulicos, com a função de fracionar o líquido em gotas, dosar o volume de defensivo a ser aplicado e realizar a deposição do produto fitossanitário com qualidade sobre o alvo, sendo que essas funções influenciam diretamente na qualidade da aplicação (ZHAO et al. 2014).

O ângulo de pulverização é um parâmetro definido na confecção das pontas hidráulicas, podendo variar com alteração

da pressão de trabalho, fator que pode alterar a sobreposição do jorro, resultando na má uniformidade de distribuição das pontas. Conforme Rodrigues et al., (2012) é importante conhecer o ângulo do jato da ponta, pois o mesmo produz faixas de aplicação diferentes, sendo necessário adequar a distribuição das pontas na barra de pulverização.

Existem algumas maneiras de mensurar o ângulo de pontas hidráulicas, sendo a mesa de perfil de distribuição uma das mais utilizadas, porém esse método demanda muito tempo, além de ser susceptível a deriva principalmente em condições de baixa umidade, alta temperatura e velocidade do vento.

Nos últimos anos intensificou-se o uso do processamento digital de imagens em diversas áreas, inclusive na agricultura, por ser uma ferramenta que possibilita o desenvolvimento de padrões e mecanismos de reconhecimento de formas e medidas (Dias et al., 2010). Segundo Solomon; Breckon (2013) a partir do processamento de imagens é possível melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais, e posteriormente o responsável técnico será capaz de ver e analisar essas informações com mais clareza.

Mediante ao exposto e a necessidade de otimização das atividades agrícolas, a presente pesquisa teve como objetivo determinar o ângulo produzido por pontas hidráulicas utilizando dois métodos convencionais (mesa de perfil de distribuição e goniômetro) e através do processamento digital de imagens em diferentes resoluções.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Informações gerais

O trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, conduzido no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas (LADA) localizado no município de Viçosa, Minas Gerais. Como alvo dos estudos utilizou-se duas pontas hidráulicas com diferentes características, conforme informações dos fabricantes (Tabela 1).

As avaliações foram realizadas através da pulverização de água, sendo os ângulos das pontas hidráulicas mensurados por três métodos: mesa de perfil de distribuição, goniômetro e processamento digital de imagens. Os ângulos foram estimados variando a pressão de trabalho (300 e 500 kPa) e alterando-se a resolução digital da câmera para VGA, 5 MP, 10 MP e 20 MP.

A variação das pressões de trabalho foram obtidas através de uma bomba de pistão que trabalhava a 800 rpm, vazão nominal de 12 L min<sup>-1</sup>, potência de 0,75 a 1,12 kW e pressão máxima de 3.516 kPa. A bomba era acionada por um motor elétrico da marca Weg®, modelo F56H com potência de 1,5 kW e rotação de 3.570 rpm. Para a verificação das pressões de trabalho utilizou-se um manômetro com glicerina da marca COMANN®. A barra de pulverização foi equipada com o conjunto constituído de ponta, corpo da ponta, filtro da ponta, capa da ponta e borracha de vedação, alojada sobre uma estrutura metálica que foi utilizada para os três métodos.

Tabela 1. Características das pontas hidráulicas avaliadas.

Table 1. Characteristics of the hydraulic tips evaluated.

Marca	Modelo	Pressão de trabalho (kPa)	Vazão nominal (L min <sup>-1</sup> )	Ângulo	Formato do jorro
Hypro	02E80	300	0,756	80°	Leque simples
Jacto	AXI	300	1,89	110°	Leque simples

Fonte: Catálogo dos fabricantes Hypro e Jacto.

### 2.2. Métodos empregados

No primeiro método foi utilizado um goniômetro da marca Mitutoyo, afixado na barra de pulverização, onde o ângulo zero do aparelho coincidiu com o centro da ponta, conforme metodologia proposta por Ferreira et al. (2011).

Posteriormente os ângulos das pontas hidráulicas foram mensuradas através da mesa de perfil de distribuição, de acordo com a metodologia de Fernandes et al. (2007). A mesa era constituída por canaletas distanciadas de 0,05 m entre si, que conduziam o líquido até as provetas graduadas, sendo uma proveta para cada canaleta. Cada ponta testada foi posicionada sobre a canaleta central, a uma altura de 0,5 m. O tempo de aplicação foi de dois minutos para cada repetição.

O último método consistiu em determinar o ângulo do jorro através do processamento digital de imagem. As imagens dos jorros das pontas hidráulicas foram capturas a uma distância de 40 cm do objeto (ponta hidráulica) através de uma câmera fotográfica digital da marca Sony®, modelo DSC-H200, com sensor CCD de 1/2.3", sendo a sensibilidade do sensor a luz, o equilíbrio de branco e a distância focal, configurados para o modo automático. No momento da aquisição das imagens o ambiente estava sob iluminação artificial de lâmpadas fluorescentes.

As imagens obtidas foram processadas em software MATLAB®, versão R2009b, sendo linearizadas pelo método de Otsu (1979). Posteriormente foi criada uma rotina para determinar a distância entre a primeira coluna da imagem até as bordas do lado direito do jorro, tanto na parte superior como na parte inferior. E outra rotina para determinar a distância entre a última coluna da imagem e as bordas do lado esquerdo do jorro, tanto na parte superior como na parte inferior. A partir da Figura 3 é possível verificar que o jorro emitido pela ponta hidráulica forma um trapézio (linhas vermelhas), sendo os ângulos internos dessa figura calculados através de relações trigonométricas de triângulo retângulo conforme a Eq. 1.

$$\beta = \arctan \left[ \beta_1 \left( \frac{L_1}{H} \right) \right] + \arctan \left[ \beta_2 \left( \frac{L_2}{H} \right) \right] \quad (1)$$

em que:  $\beta$  = ângulo do jorro, graus;  $L_1$  = comprimento da base do triângulo 1, pixel;  $H$  = altura da imagem, pixel;  $L_2$  = comprimento da base do triângulo 2, pixel.

### 2.3. Análise dos dados

Os resultados referentes aos ângulos das pontas hidráulicas obtidos por diferentes métodos foram analisados estatisticamente, dispostos em parcelas subdivididas, com 10 repetições cada, sendo os métodos de medir os ângulos as parcelas e as pressões de trabalho as subparcelas. Os ângulos em diferentes resoluções digitais foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, sendo 4 tratamentos (resoluções da câmera) com 10 repetições cada. Nos dois experimentos os dados foram processados por meio de uma análise de variância e quando

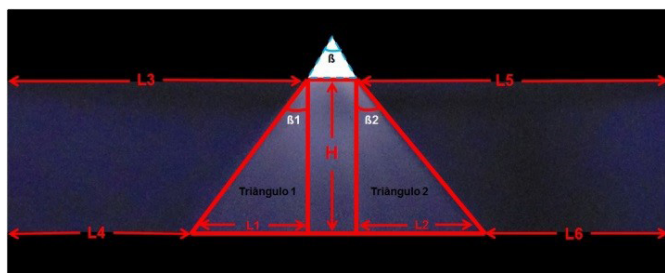


Figura 1. Imagem do formato do jorro produzido pela ponta hidráulica.

Figure 1. Image of the shape of the jet produced by the hydraulic tip.

significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS

Os resultados encontrados do ângulo médio das pontas hidráulicas estão apresentados na Tabela 2, sendo que o método da mesa de perfil de distribuição é estaticamente superior aos demais métodos em ambas as pressões estudadas.

Na Tabela 3 é mostrado o teste de média dos ângulos do jorro das pontas hidráulicas Hypro e Jacto, obtidos por meio do processamento digital de imagens em diferentes resoluções digitais. Os valores obtidos nas resoluções de 20 e 10 megapixels são superiores aos demais, indicando que a redução da resolução da imagem, abaixo de 10 MP, provoca leituras abaixo daquelas indicadas pelos fabricantes.

Na Figura 2 é possível observar a degradação da base do jorro, da ponta hidráulica Jacto, devido à redução da resolução da

Tabela 2. Ângulo do jorro produzido pelas pontas hidráulicas da marca Hypro e Jacto.

Table 2. Angle of the jet produced by the Hypro and Jacto brand hydraulic tips.

Métodos	Pressão (kPa)	
	300	500
Ponta Hypro		
Goniômetro	73,93 bB	75,53 bA
Mesa de perfil de distribuição	80,69 aB	85,20 aA
Processamento de imagens	74,28 bB	77,50 bA
CV (%)	3,25	1,26
Ponta Jacto		
Goniômetro	108,50 bA	109,99 bA
Mesa de perfil de distribuição	115,65 aB	119,99 aA
Processamento de imagens	109,20 bA	110,86 bA
CV (%)	2,01	1,31

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Ângulos, em graus, das pontas hidráulicas Hypro e Jacto obtidos em diferentes resoluções digitais.

Table 3. Angles, in degrees, of Hypro and Jacto hydraulic tips obtained in different digital resolutions.

Resolução	Ponta Hypro	Ponta Jacto
20 MP	78,14 a	109,08 a
10 MP	77,15 a	106,45 a
5 MP	73,43 b	99,41 b
VGA	66,40 c	69,18 c

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 2. Imagens do jorro da ponta Jacto, após o processamento, na resolução VGA (superior) e 20 Mp (inferior).

Figure 2. Images of jet spurt after processing, at VGA resolution (upper) and 20 Mp (lower).

imagem. Com relação à ponta Hypro também foi observado o mesmo comportamento.

### 4. DISCUSSÃO

A largura das canaletas, 0,05 m, pode ter contribuído para a superioridade dos resultados obtidos a partir da mesa de perfil de distribuição, pois não era possível identificar exatamente onde o jorro atingiu a canaleta, sendo assim identificado o número de provetas que continham o líquido e desse modo mensurado a base do jorro. Mediante isso quanto menor a largura das canaletas maior a precisão desse método, caso contrário há superestimação da base do jorro. Vale ressaltar que esse método é muito susceptível à deriva, não sendo indicado a execução do mesmo em condições de campo.

A partir dos resultados percebe-se que o método da mesa de perfil de distribuição apresentou valor médio bem próximo daquele apresentado no catálogo do fabricante para a ponta Hypro na pressão de 300 kPa, e valor acima na pressão de 500 kPa. Com relação a Jacto verificou-se que os métodos do goniômetro e de processamento de imagens tiveram seus valores mais próximos dos apresentados pelo fabricante em ambas as pressões.

Ao analisar a pressão de trabalho, percebe-se que o aumento de 300 para 500 kPa provocou um acréscimo significativo no ângulo do jorro medidos através de todos métodos para a ponta Hypro, porém para a ponta Jacto somente através do método da mesa de perfil de distribuição foi obtido aumento significativo no ângulo do jorro. Tal situação chama a atenção para a susceptibilidade do método da mesa de perfil de distribuição à deriva, pois apesar da pesquisa ser executada em condições de laboratório, é possível verificar que o ângulo na pressão de 300 kPa é muito além daquele informado pelo fabricante, sendo que o aumento do ângulo do jorro e da pressão de trabalho provoca a redução do espectro das gotas e desse modo as mesmas ficam mais sujeitas à deriva.

Rodrigues et al. (2012) estudando o desempenho de pontas hidráulicas submetidas a diferentes pressões de trabalho, verificaram aumento significativo no ângulo da ponta da marca Jacto, modelo JA-2, ao aumentar a pressão de 414 para 620 kPa, sendo o aumento de 78,12 para 80,44 graus, resultado semelhante ao deste trabalho e que demonstra a necessidade de redistribuição das pontas hidráulicas ao longo da barra de pulverização mantendo assim o perfil de distribuição homogêneo. Conforme Delmond et al. (2008) o aumento da

pressão influenciará no perfil de distribuição, não sendo uma boa característica para a sobreposição dos jorros.

A redução dos ângulos das pontas hidráulicas é devido a menor qualidade da imagem nas menores resoluções, o que provoca degradação das extremidades do jorro durante o processamento da imagem (Figura 2). A deterioração ocorre em razão da redução da densidade do jorro, principalmente nas extremidades, sendo as pequenas gotas consideradas como ruído durante o processamento da imagem. Essa situação reduz o ângulo, já que o mesmo é calculado por meio do quociente entre o comprimento da base e a altura do jorro.

## 5. CONCLUSÕES

A determinação do ângulo das pontas hidráulicas através do método do goniômetro e processamento digital de imagens apresentam valores semelhantes, porém diferem do método da mesa de perfil de distribuição.

O aumento da pressão de trabalho provoca o aumento no ângulo do jorro das pontas avaliadas.

A determinação do ângulo de pontas hidráulicas através do processamento de imagens digitais demonstra-se como uma ferramenta eficiente.

A resolução digital, de sensores fotográficos, abaixo de 10 megapixels provocam valores subestimados nos ângulos de pontas hidráulicas quando medidos por processamento digital de imagens.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. B.; CUNHA, P. A. R. Aspectos qualitativos da avaliação de pulverizadores hidráulicos de barra na região de Uberlândia, Minas Gerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, p.555-562, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000300019>

DIAS, G. M.; LINO, A. C. L.; SANCHES, J.; LIMA, F. A. B.; NASCIMENTO, T. S. Uso de imagens digitais na classificação de flores de corte. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.16, n.2, p.123-126, 2010.

FERNANDES, A. P.; PARREIRA, R. S.; FERREIRA, M.C.; ROMANI, G. N. Caracterização do perfil de deposição do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.728-733, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000400016>

FERREIRA, M. C.; LOHMANN, T. R.; CAMPOS, A. P.; VIEL, S. R.; FIGUEIREDO, A. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-viola. **Planta Daninha**, Viçosa, v.29, n.3, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000300024>

FERREIRA, M. C.; COSTA, G. M.; SILVA, A. R.; TAGLIARI, S. R. A. Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica ADGA 110015 para pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p. 471-478, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000300016>

NOBUYUKI, O. A **Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms**. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics. SMC-9(1), 1979.

RODRIGUES, G. J.; TEIXEIRA, M. M.; ALVARENGA, C. B. de. Desempenho operacional de pontas hidráulicas na determinação de parâmetros da pulverização hidropneumática. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p.8-15, 2012.

SOLOMON, C.; BRECKON, T. **Fundamentos de Processamento Digital de Imagens** – Uma abordagem prática com exemplos em MatLab. São Paulo: Editora LTC. 288p. 2013.

ZHAO, H.; XIE, C.; LIU, F.; HE, X. ZHANG, J.; SONG, J. Effects of sprayers and nozzles on spray drift and terminal residues of imidacloprid on wheat. **Crop Protection**, v.60, p.78-82, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.02.009>