

Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.5, n°. 2, p.105–112, 2011  
ISSN 1982-7679 (On-line)  
Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>  
Protocolo 048.09 – 20/11/2010 Aprovado em 24/07/2011

## **DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL E DA UNIFORMIDADE DO ASPERSOR MODELO KOMET 140 PLUS OPERADO EM SISTEMA AUTOPROPELIDO**

Lucas Melo Vellame<sup>1</sup> Wanderley de Jesus Souza<sup>2</sup> Robson André Armindo<sup>3</sup> Rubens Duarte  
Coelho<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Irrigação e Drenagem, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP,  
lcvellame@hotmail.com

<sup>2</sup>Doutorando em Irrigação e Drenagem, Depto. de Engenharia de Biossistemas,  
ESALQ/USP, wjsouza@esalq.usp.br

<sup>3</sup> Prof. Adj. Universidade Federal do Paraná, rarmindo\_@hotmail.com

<sup>4</sup> Prof. Associado, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, rdcoelho@usp.br

### **RESUMO**

Neste trabalho, teve-se por objetivo avaliar a uniformidade de aplicação de água pelo aspersor Komet 140 plus, operando em sistema de autopropelido, simulada pelo aplicativo computacional TraveGun, sob diversas condições de vento, de espaçamento entre carregadores e ângulo de giro, e analisar a eficiência do software na estimativa da distribuição da lâmina de água aplicada pelo aspersor. O aplicativo foi calibrado com base na distribuição radial estacionária de água pelo aspersor, obtida com velocidades de vento igual a 1,1; 1,66 e 2,4 m s<sup>-1</sup>. Realizaram-se simulações com espaçamentos entre carregadores, ângulo de giro do aspersor e velocidades e direção do vento. As maiores uniformidades de distribuição de água foram obtidas com espaçamentos variando de 66 a 76 % do raio molhado pelo aspersor. Em condição de ausência de vento, o ângulo de giro do aspersor de 240° possibilitou maior uniformidade de distribuição de água. Em condição de vento forte (5 m s<sup>-1</sup>), a uniformidade de distribuição não foi muito afetada pelas variações no ângulo de giro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Uniformidade de aplicação de água, Aspersão, TraveGun

### **DETERMINATION OF RADIAL PROFILE AND THE UNIFORMITY OF KOMET 140 PLUS SPRINKLER IN SELF-PROPELLED SYSTEM**

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the application-water uniformity by Komet 140 plus sprinkler, running on traveler irrigation system, simulated by the computer application TraveGun, for several conditions of wind, spacing and wetted sector, and analyze the efficiency of the software to estimate the water depth distribution applied by sprinkler. The software was calibrated based on the radial distribution of water stationary obtained from wind speeds equal to 1.1, 1.66 and 2.4 m s<sup>-1</sup>. Simulations were performed with different spacing, wetted sector and speed and direction of wind. The largest uniformity distribution of water was obtained with spacing ranging from 66 to 76% of the radius wet by sprinkler. In condition of no wind the wetted sector of 240° presented more uniformity of water distribution. In strong wind condition (5 m s<sup>-1</sup>), the uniformity of distribution was not much affected by variations in the wetted sector.

**KEYWORDS:** Application of water uniformity, Spraying, TraveGun

## DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL E DA UNIFORMIDADE DO ASPERSOR MODELO KOMET 140 PLUS OPERADO EM SISTEMA AUTOPROPELIDO

### INTRODUÇÃO

No Brasil cerca de 3,4 milhões de hectares são irrigados sendo que, desse total, 2,2 milhões de hectares são irrigados por sistemas pressurizados, em que se destacam os seguintes equipamentos: pivô central (850.000 ha), autopropelido (400.000 ha), aspersão convencional (600.000 ha) e irrigação localizada (350.000 ha) (COELHO, 2007). O sistema de irrigação por autopropelido tem sido bastante utilizado no Brasil, nas culturas de cana-de-açúcar (aplicação de vinhaça), citros e café, principalmente por agricultores com maior aversão a riscos, em áreas com boa disponibilidade hídrica (COELHO, 2007). Os sistemas por autopropelido apresentam em geral baixa uniformidade de distribuição de água, pois a uniformidade é influenciada pela velocidade e direção do vento e pelas características hidráulicas do equipamento como tipo de perfil de distribuição do aspersor, pressão de serviço, uniformidade de rotação do aspersor, características do bocal e altura dos aspersores.

A simulação dos padrões de distribuição de água em condições de vento evoluiu significativamente ao longo das últimas duas décadas. Duas grandes abordagens têm sido utilizadas: uma determinística, em que se aplica a teoria balística tradicional para calcular a trajetória individual de cada gota de água; e métodos empíricos que se fundamentam na extrapolação dos dados medidos de distribuição de água do aspersor para as direções e velocidades do vento testadas. Shull; Dylla (1976), Smith et al., (2006), ao trabalharem com um sistema autopropelido, simularam vários espaçamentos entre carreadores, sob diversas condições de vento, e verificaram que os menores espaçamentos entre carreadores proporcionaram melhor uniformidade de distribuição. Keller; Bliesner (1990) recomendam, para condição de vento fraco, que o espaçamento entre carreadores seja próximo de 80% do diâmetro molhado.

Tarjuelo (1999) e Bernardo et al. (2005) concordam com os autores acima pois também referenciam essa recomendação. Rocha et al. (2005) verificaram maiores valores de uniformidade de Christiansen (CUC) para larguras de faixa irrigadas que correspondem de 70 a 80% do diâmetro molhado. Prado et al. (2007), simulando a operação de um aspersor canhão operando em sistemas autopropelidos, observaram na ausência de vento que espaçamentos de carreadores menores que 50% do diâmetro molhado, situado entre 80 e 90% do diâmetro molhado pelo aspersor, proporcionaram maiores valores de uniformidade.

Em relação ao ângulo de giro, com base em simulações da distribuição de água de um aspersor com perfil radial de aplicação de água de formato uniforme, Keller; Bliesner (1990) recomendam ângulos de giro próximo de 210°. Tarjuelo (1999), baseado em resultados de ensaios realizados no L'institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement (CEMAGREF), na França, recomenda valores de ângulo de giro entre 200 e 220°. Rocha et al. (2005) comentam que ângulos com valores próximos de 270° são recomendados para sistemas autopropelidos de irrigação. Prado et al. (2004), indicam que ângulo de giro de 240° proporciona melhor distribuição de água do que aquela obtida com o ângulo de 270°. Prado et al. (2007) observam que os melhores valores de uniformidade de aplicação de água foram obtidos com ângulos de giro do aspersor entre 180 e 210°.

A partir de um perfil radial de distribuição obtido na ausência de vento, pode-se utilizar um programa computacional para simular a uniformidade de aplicação de água em qualquer ponto da faixa irrigada (ROLLAND, 1982), sendo possível estimar a lâmina aplicada para diferentes condições operacionais, caracterizadas pelo tipo de bocal, pressão de serviço, ângulo de giro do aspersor, espaçamento

## DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL E DA UNIFORMIDADE DO ASPERSOR MODELO KOMET 140 PLUS OPERADO EM SISTEMA AUTOPROPELIDO

entre carregadores e velocidade de deslocamento. Um aplicativo computacional que simula a uniformidade de aplicação de água para diferentes condições de trabalho de um equipamento autopropelido, com base nos perfis radiais do aspersor ensaiado, foi descrito por Yanagi Júnior; Ferreira; Colombo (1995), em que as simulações foram efetuadas a partir de dois perfis radiais adimensionais, que representavam os demais perfis, sendo os perfis obtidos pelo uso do algoritmo de agrupamento “K-Means”. A uniformidade de aplicação da lâmina de água com sistema autopropelido pode ser simulada com o software TraveGun, podendo este ser utilizado para calcular o desempenho do sistema de irrigação e simular espaçamentos entre carregadores (ROLIM; PEREIRA, 2005).

Nesse trabalho, teve-se por objetivo avaliar a uniformidade de aplicação de água do aspersor Komet 140 plus operando em sistema autopropelido, simulado pelo software TraveGun sob diversas condições de vento, espaçamento entre carregadores e ângulo de giro; e também, analisar a eficiência desse aplicativo computacional na estimativa da distribuição da lâmina de água aplicada pelo aspersor.

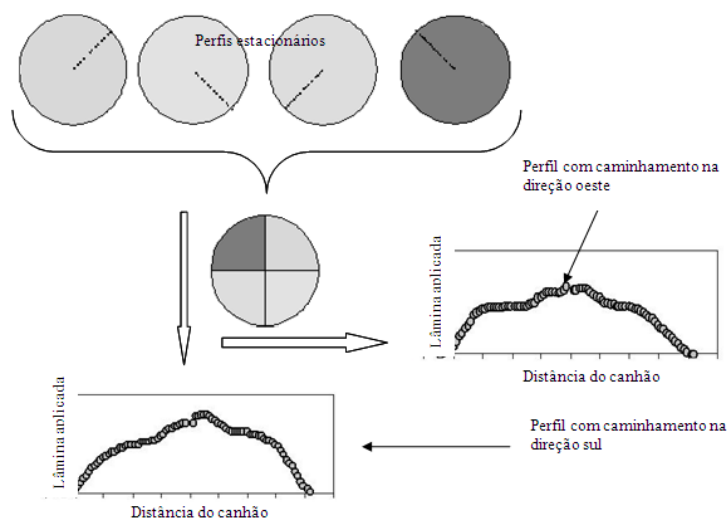
Os ensaios foram realizados em uma área gramada localizada no Departamento de Engenharia de Biosistemas, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), em Piracicaba-SP.

O aspersor utilizado foi o Komet Twin 140 plus, com faixa de operação em pressão de 196 a 687 kPa, ajustando-se a pressão de serviço em 392 kPa, trajetória do jato de 24°, e um bocal de tipo cônico com diâmetro interno de 0,024 m. O aspersor ainda apresentava sistema de propulsão ajustável, sistema de freio automático e mecanismo de reversão setorial.

Quatro linhas de coletores foram dispostas em campo espaçadas em 1,00 m nas direções nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste. Coletou-se o volume aplicado no ensaio realizado com tempo de 1 hora em quatro perfis radiais de distribuição de água, para três condições de velocidade do vento. A velocidade do vento foi medida por meio de um anemômetro portátil com intervalo entre leitura de um minuto, sendo posteriormente calculada a média das velocidades.

Utilizando a sobreposição dos dados simulou-se a distribuição radial de água do canhão operando o autopropelido com velocidade de caminhada constante em duas direções (Figura 1).

### MATERIAL E MÉTODOS



**Figura 1.** Esquema utilizado para obtenção do perfil de aplicação da água pelo canhão, simulando a operação do autopropelido a partir dos perfis de distribuição de água estacionários.

**DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL E DA UNIFORMIDADE DO ASPERSOR MODELO  
KOMET 140 PLUS OPERADO EM SISTEMA AUTOPROPELIDO**

Com base em cada perfil radial estacionário foi obtida a distribuição espacial da água utilizando o software Winspace. Efetuou-se uma distribuição espacial hipotética com os dados de cada perfil correspondendo a um quadrante da área molhada pelo aspersor.

Utilizando-se esse software, pôde-se simular a distribuição espacial da água aplicada por um autopropelido em ensaios com ventos de velocidade e direção conhecida, a partir de dados de distribuição radial de água aplicado por esse sistema.

$$W_D = \left[ A + B \left( \frac{r}{R_m} \right) + C \left( \frac{r}{R_m} \right)^2 \right] W \quad (1)$$

$$R_S = \left[ D \left( \frac{r}{R_m} \right) + E \left( \frac{r}{R_m} \right)^2 + F \left( \frac{r}{R_m} \right)^3 \right] WS \quad (2)$$

em que:

A, B, C - constantes de deriva pelo vento;

D, E, F - constantes de encurtamento;

r - raio molhado, m;

R<sub>m</sub> - máximo raio molhado, m;

W - velocidade do vento, m s<sup>-1</sup>; e,

S - seno tridimensional entre a direção do jato de água e do vento.

O programa computacional estima os valores dos coeficientes A, B, C, D, E, F por meio da minimização da raiz do desvio quadrado médio (RMSE), dado pela equação (eq. 3):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (3)$$

em que:

P<sub>i</sub> e O<sub>i</sub> são os valores previstos e observados, respectivamente; e,

N é o número de valores observados;

Utilizou-se na calibração do aplicativo computacional os perfis radiais obtidos com velocidades de vento igual a 1,1; 1,66 e 2,4 m s<sup>-1</sup> com o canhão operando como autopropelido em duas direções, totalizando assim 6 condições de operação.

A operação foi simulada pelo aplicativo computacional TruveGun (SMITH et al., 2006), para diversas condições de vento, espaçamento entre carregadores e ângulo de giro. Simularam-se ventos de direção perpendicular e paralelo à direção de caminhamento com velocidades de 0; 1; 2; 3,5 e 5 m s<sup>-1</sup>. Os espaçamentos entre carregadores foram de 43, 47, 52, 56, 60, 65, 69, 73, 77, 82 e 86 m e os ângulos de giro do aspersor de 200° a 300°, em incrementos 10°. Para essas condições foi determinado o coeficiente de uniformidade de distribuição de água de Christiansen (CUC), expresso pela eq.4.

O modelo de calibração utilizado pelo aplicativo é apresentado por Richards; Weatherhead (1993). Nesse modelo a má distribuição de água, provocada pelo efeito negativo do vento, se reflete nos resultados de deriva (W<sub>D</sub>) e encurtamento do raio molhado (R<sub>S</sub>). A distribuição de água em condições de vento perpendicular envolve apenas encurtamento, enquanto que vento paralelo à direção de caminhamento envolve deriva e encurtamento. Essas características são dadas como funções do vento pelas equações (eq. 1 e eq. 2):

**DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL E DA UNIFORMIDADE DO ASPERSOR MODELO  
KOMET 140 PLUS OPERADO EM SISTEMA AUTOPROPELIDO**

$$CUC = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{\sum_{i=1}^N x_i} \right) \quad (4)$$

em que:

$\bar{x}$ , é a precipitação média dos pluviômetros, mm; e,

$x_i$ , é a precipitação observada em cada pluviômetro, mm.

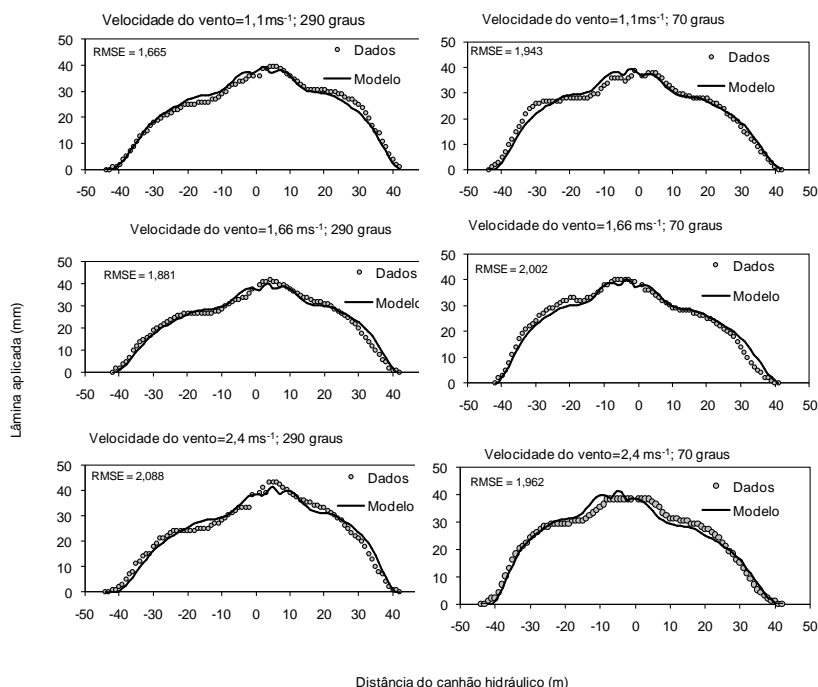
### RESULTADOS E DISCUSSÃO

As constantes de calibração foram obtidas na calibração do aplicativo TraveGun, conforme os coeficientes das eq. (2) e (3).

(Tabela 1). Essas constantes foram fundamentais para o processo de modelagem da distribuição de água para os diversos perfis (Figura 2).

**Tabela 1-** Constantes para o modelo de calibração utilizando o programa

Constantes de calibração	Valor
A	2,0632
B	-0,8533
C	-1,1333
D	-1,5362
E	-1,5387
F	2,0592

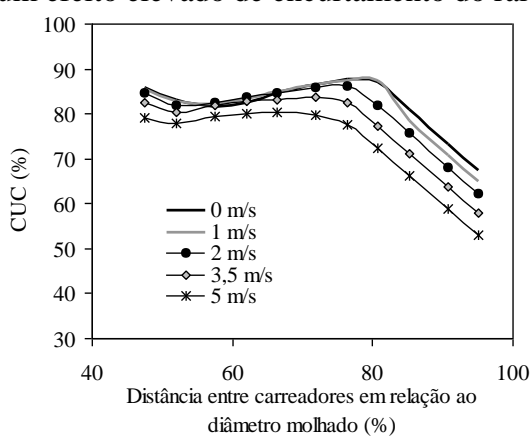


**Figura 2.** Calibração dos perfis radiais do canhão hidráulico simulando operação em autopropelido nas diversas condições de direção e velocidade de vento (V).

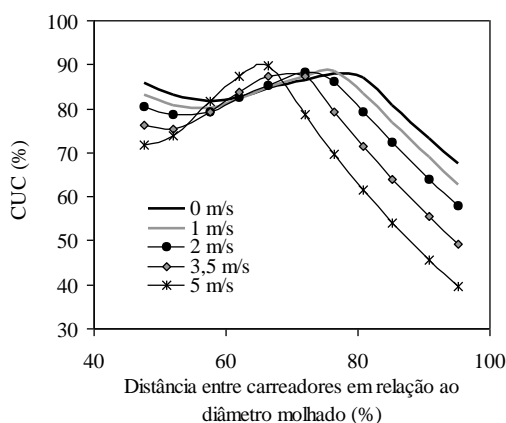
Observa-se pelos gráficos da Figura 2, que a modelagem foi eficiente na estimativa da distribuição de água apresentando desvios baixos (RMSE<2,1).

**DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL E DA UNIFORMIDADE DO ASPERSOR MODELO  
KOMET 140 PLUS OPERADO EM SISTEMA AUTOPROPELIDO**

Nos gráficos da Figura 3-a e 3-b são apresentados o coeficiente de uniformidade de aplicação de água (CUC) para diversos espaçamentos de carregadores e velocidades de vento. Para as diferentes condições de ventos com até  $3,5 \text{ m s}^{-1}$ , os valores de CUC são similares, para espaçamentos entre carregadores com 60 a 75% do diâmetro molhado. Os maiores valores de CUC foram obtidos com espaçamentos menores que 50% e entre 60 e 80% do diâmetro molhado. Estes resultados estão de acordo com aqueles encontrados por Keller; Bliesner (1990), Tarjuelo (1999) e Bernardo et al. (2005), que recomendam espaçamento entre carregadores com valores próximos de 80% do diâmetro molhado em condições de ventos fracos. Quando a direção de caminhamento do autopropelido é perpendicular a direção do vento o CUC variou de forma menos intensa com a mudança de espaçamento. Entretanto quando a direção de caminhamento se dá paralela à direção do vento os valores máximos de CUC foram em geral mais elevados que em condição de direção de vento perpendicular. Isso ocorreu provavelmente por um efeito elevado de encurtamento do raio molhado pelo aspersor.



(a)



(b)

**Figura 3.** Coeficiente de uniformidade de aplicação de água (CUC) para diversos espaçamentos de carregadores e velocidades de vento perpendiculares (a) e na direção do caminhamento (b).

Na Tabela 2 estão apresentados os valores máximos de CUC para cada condição de vento e seus respectivos espaçamentos. O máximo coeficiente de uniformidade

obtido nas simulações foi encontrado com espaçamentos entre carregadores variando entre 66 e 76 % do diâmetro molhado e variaram de 80,3 a 89,7%.

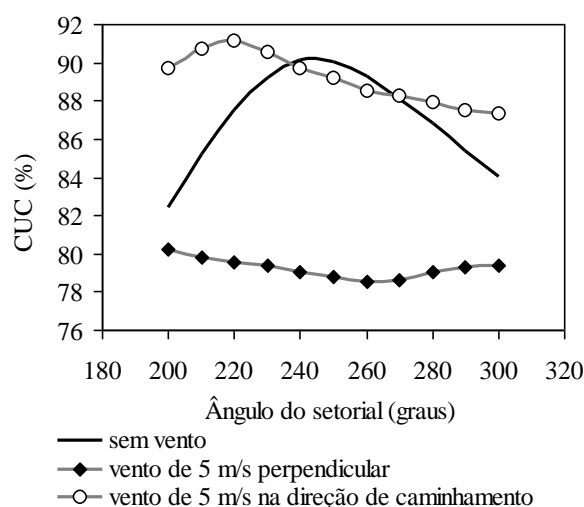
**DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL E DA UNIFORMIDADE DO ASPERSOR MODELO  
KOMET 140 PLUS OPERADO EM SISTEMA AUTOPROPELIDO**

**Tabela 2.** Valores máximos de coeficiente de uniformidade para cada condição de vento e seus respectivos espaçamentos.

Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	Vento perpendicular		Vento na direção de caminhamento	
	Espaçamento (%)	CUC (%)	Espaçamento (%)	CUC (%)
0	76	87,8	76	87,8
1	76	87,5	76	88,5
2	76	86,1	72	88,3
3,5	72	83,6	66	87,4
5	66	80,3	66	89,7

O coeficiente de uniformidade variou de forma diferenciada com o ângulo de giro do aspersor nas diversas condições de vento. Na Figura 4 estão apresentados os

valores de CUC para diversos ângulos de giro do aspersor em condição de vento nulo e forte



**Figura 4.** Coeficiente de uniformidade de aplicação de água (CUC) para diversos ângulos de giro do aspersor em condição de vento nulo e a 5 m s<sup>-1</sup>.

Em condição de ausência de vento, o ângulo do setorial que apresentou maior uniformidade foi de 240°, conforme indicado por Prado et al. (2004); ângulos acima e abaixo desse valor apresentaram menores uniformidades. À medida que se aumenta a velocidade do vento tanto em direção perpendicular quanto paralela à direção de caminhamento os valores de CUC são menos influenciados pelo ângulo do setorial. Para ventos na direção do caminhamento, encontraram-se excelentes resultados, conforme Bernardo (1995), obtendo-se os maiores valores de CUC (acima de 90%) com ângulos de giro entre 210 e 230°, estando estes resultados de acordo com

recomendações feitas por Keller; Bliesner (1990) e Tarjuelo (1999). Para ventos na direção perpendicular, os melhores resultados de CUC (próximos de 80%), classificados como razoável por Bernardo (1995), foram obtidos com ângulos de giro entre 200 e 210°, conforme sugerido por Keller; Bliesner (1990). Na presença de ventos, para ângulos próximos de 270°, recomendados por Rocha et al. (2005), os valores de CUC foram um pouco aquém daqueles obtidos para ângulos de giro entre 210 e 230°. Para a direção perpendicular e de caminhamento, obtiveram-se CUC de 79 e 88%, respectivamente, classificados por Bernardo (1995) como razoável para a direção perpendicular e bom para a direção do caminhamento.

**DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL E DA UNIFORMIDADE DO ASPERSOR MODELO  
KOMET 140 PLUS OPERADO EM SISTEMA AUTOPROPELIDO**

**CONCLUSÕES**

A melhor condição de uniformidade de aplicação de água foi encontrada com espaçamentos entre carregadores entre 66 e 76 % nas diversas condições de vento. Em condição de vento nulo, o ângulo do setorial que apresentou maior uniformidade foi de 240°. Nas condições dessa pesquisa, o uso do aplicativo computacional TruveGun apresentou eficiência na estimativa da distribuição da lâmina de água aplicada.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).

**LITERATURA CITADA**

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1995, 657p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2005. 611 p.

COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil Piracicaba**. 2007. 192 f. Livre-Docência –

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

PRADO, G. Aplicativo computacional para **simulação da distribuição de água pelo aspersor PLONA-RL300 em**

**sistemas autopropelidos de irrigação**. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em

Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

RICHARDS, P.J.; WEATHERHEAD, E.K. Prediction of raingun application patterns in windy conditions. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Auckland, v.54, n.4, p.281-291, 1993.

ROCHA, F.A.; PEREIRA, G.M.; ROCHA, F.S.; SILVA, J.O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.1, p.96-106, 2005.

ROLIM, J.; PEREIRA, L.S. Design and evaluation of traveling-gun systems: the simulation model TRAVGUN. In: EFITA/WCCA JOINT CONGRESS ON IT IN AGRICULTURE, 2005, Vila Real. **Proceedings...** Vila Real: EFITA/WCCA, 2005. p.166-71.

ROLLAND, L. **Mechanized sprinkler irrigation**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982. 409 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 35).

SHULL, H.; DYLLA, A. S. Traveling gun application uniformity in high winds. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 254-258, Nov./Dec. 1976

SMITH, R.J.; GILLIES, M.H.; NEWELL, G.; FOLEY, J.P. A Decision support model for travelling gun irrigation machines. **Biosystems Engineering**. Toowoomba, v.100, p.126-136, 2008

TARJUELO, J. M. **El riego por aspersión y su tecnología**. 6. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1999. 529 p.

YANAGI JÚNIOR, T.; FERREIRA, E.; COLOMBO, A. Dimensionamento e predição de água em sistemas de irrigação por aspersores autopropelidos. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 302-310, jul./set. 1995.