

ANÁLISE DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE MICROASPERSORES

LUIZ FABIANO PALARETTI¹; JOSÉ RENATO ZANINI¹; DIEGO AUGUSTO VECCHIATO¹; ALEXANDRE BARCELLOS DALRI¹ E ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA¹

¹Departamento de Engenharia Rural, FCAV/Unesp, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil, email: lfpalaretti@fcav.unesp.br, jrzanini@fcav.unesp.br, rogeriofaria@fcav.unesp.br, diegoauv@hotmail.com, dalri@fcav.unesp.br

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a uniformidade de aplicação de água e o padrão de molhamento dos microaspersores DAN 2001 e DAN 2002, conforme a ABNT (2004). O ensaio foi conduzido na Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP. O tempo de teste foi de 1 hora sob pressão constante de 250 kPa e total ausência de vento, com 3 repetições. Foram determinados os coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) e de Christiansen (CUC) e o padrão de molhamento dos microaspersores. Os valores médios de CUC para ambos os microaspersores foi classificado como “bom” alcançando 80,22% e 83,21% para o DAN 2001 e DAN 2002, respectivamente. Os valores médios de CUD foram 71,35% (DAN 2001) e 75,39% (DAN 2002), ambos classificados como “bom”. Os valores médios de CUC e CUD não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0.05$), apresentando valores de coeficiente de variação de 6,52 e 10,77, respectivamente. O padrão de molhamento apresentou maiores intensidades de aplicação (4,0 – 5,0 mm h⁻¹) nos primeiros 0,25 m de distância do microaspersor, decrescendo com o aumento da distância, com intensidades de 2,0 a 3,0 mm h⁻¹ a 2,25 m.

Palavras-chave: sobreposição, emissores, raio de alcance

PALARETTI, L. F.; ZANINI, J. R.; VECCHIATO, D. A.; DALRI, A. B.; FARIA, R. T.
ANALYSIS OF APPLICATION UNIFORMITY COEFFICIENT OF THE
MICROSPRINKLERS

2 ABSTRACT

The aim of this study was to analyze water application uniformity and wetness pattern of microsprinklers DAN 2001 and DAN 2002 according to ABNT NBR (2004). The test was conducted in Paulista State University, campus of Jaboticabal, SP. The test time was 1 hour under a constant pressure of 250 kPa and total absence of wind, with 3 replications. The distribution uniformity coefficient (CUD); uniformity (CUC) and wetness pattern of microsprinklers were determined. The average values of CUC for both microsprinklers were described as "good", reaching 80.22 and 83.21% for the DAN 2001 and DAN 2002, respectively. The average values of CUD were 71.35% (DAN 2001) and 75.39% (DAN

2002), both described as "good". The average values of CUC and CUD did not differ in Tukey tests ($p \geq 0.05$), with coefficient variation values of 6.52 and 10.77, respectively. The wetness pattern showed higher intensities application (4.0 to 5.0 mm h⁻¹) for the first 0.25 m distance from the microsprinklers, decreasing with increasing distance, with intensities from 2.0 to 3.0 mm h⁻¹ at 2.25 m.

Keywords: overlapping, emitters, operating range

3 INTRODUÇÃO

O microaspersor é caracterizado por distribuir a água de forma pulverizada através de mecanismos fixos e, ou móveis (ABNT, 2004). A vazão varia de 20 a 150 L h⁻¹, e de forma relevante apresentam um mecanismo de compensação de vazão. A forma de molhamento confere a este emissor eficiência de aplicação próxima a 90-92% (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009; BARRETO; WENDLAND; MARCUZZO, 2009).

A proporção da eficiência do sistema de irrigação é resultado da interação entre a alta uniformidade de aplicação de água e baixas perdas por evaporação e arraste, e está intimamente relacionada com a variação de vazão dos emissores (KELLER; KARMELI, 1974).

A paridade do teor de água do solo e a produtividade das culturas irrigadas são muito dependentes da uniformidade com que a água é aplicada pelo sistema de irrigação (FRIZZONE et al., 2007), influenciando negativamente o custo da irrigação e o desempenho da cultura. A baixa uniformidade de irrigação irá refletir-se no desenvolvimento desuniforme das plantas, uma vez que, enquanto alguns pontos receberam lâminas adequadas, outros serão irrigados com lâminas maiores ou menores (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

A uniformidade de aplicação se refere à igualdade de distribuição da lâmina de água sobre a superfície irrigada. Apresenta-se como um dos parâmetros de avaliação do desempenho da irrigação (CASTIBLANCO, 2009), influenciando diretamente o teor de água do solo e a produtividade das culturas. As perdas de carga por atrito, topografia do terreno e característica de emissores afetam diretamente a uniformidade de aplicação de água.

Para a estimativa da variabilidade da distribuição de água são propostos alguns coeficientes estatísticos. Reconhecido como um parâmetro adequado, o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) avalia a uniformidade de aplicação com base na média dos desvios absolutos em relação à média dos valores obtidos de precipitação (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Valores abaixo de 60% são classificados como inaceitáveis e superiores a 90% como excelentes (MANTOVANI, 2001).

Outro índice de uniformidade frequentemente utilizado para avaliar sistemas de irrigação localizada é o coeficiente de distribuição (CUD), que relaciona as 25% menores lâminas coletadas com a média das vazões (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008). Os valores abaixo de 36% são classificados como inaceitáveis e superiores a 84% como excelentes (MANTOVANI, 2001).

Relacionando-se o CUD com a área adequadamente irrigada (ADI) observa-se que baixos valores de CUD indicam excessiva perda por percolação profunda, ou seja, toda a área recebe uma lâmina maior ou igual à real necessária (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Por outro lado quando a uniformidade de distribuição é alta, mesmo que

os valores de ADI forem menores, os volumes de excesso e déficit não serão muito elevados, resultando em menos efeitos adversos sobre a produção da cultura (FRIZZONE; REZENDE; FARIA, 2012).

Buscou-se, neste trabalho, avaliar a uniformidade de aplicação de água dos microaspersores DAN 2001 e DAN 2002, fabricados e comercializados pela empresa NAANDAN-JAIN, segundo a norma ABNT (2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências da Universidade Estadual Paulista na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/FCAV, em Jaboticabal – SP no Laboratório de Hidráulica pertencente ao Departamento de Engenharia Rural.

A pressurização da linha de teste foi feita por meio de um conjunto motobomba de 1 cv-220 volts, com vazão máxima de $3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e pressão de 550 kPa. O sistema de abastecimento de água foi em circuito aberto, evitando o aquecimento por recirculação.

Na ligação de pressão do conjunto motobomba foi instalado um filtro plástico de 1” com elemento filtrante composto por discos (120 mesh); uma válvula de gaveta de 1” e um manômetro glicerinado tipo Bourdon com fundo de escala de $1-7 \text{ kgf cm}^{-2}$.

A água foi conduzida da motobombas até o conector do microtubo que alimentava o microaspersor por uma mangueira de polietileno de 1” com 4 metros de comprimento.

Foram ensaiados 8 microaspersores autocompensantes de cada um dos modelos - DAN 2001 e DAN 2002 fabricados pela empresa NaaDanJain Irrigation. Nas especificações técnicas dos microaspersores, informado no catalogo do fabricante, a vazão de ambos os modelos é de 20 a 95 L h^{-1} , por outro lado a pressão de serviço e o diâmetro irrigado são de 150 a 400 kPa e 2,5 a 7,5 m para o DAN 2001 e de 120 a 400 kPa e de 3,0 a 7,0 m para o DAN 2002.

Os microaspersores de ambos os modelos utilizados na experimentação têm vazão de 47 L h^{-1} para pressão de 150 a 350 kPa, que corresponde ao bocal e rotor da cor azul.

Após ensaio prévio, os microaspersores foram classificados em ordem crescente de variação da vazão, para a avaliação da uniformidade, e numerados de 2, 4, 6 e 9, conforme normatizado (ABNT, 2004). Salienta-se que a mesmo os microaspersores sendo autocompensantes é comum uma variação da vazão. De acordo com a norma ABNT (2004), os microaspersores regulados não podem apresentar variação da vazão média (coletada) superior a 2,5% da nominal (catálogo), bem como variações máximas de vazões superiores a 10%, dentro do intervalo de compensação de pressão informado pelo fabricante.

Dessa forma, dos 16 microaspersores previamente ensaiados, foram tomados quatro de cada um dos modelos, totalizando oito microaspersores, considerando-se cada um como uma parcela experimental.

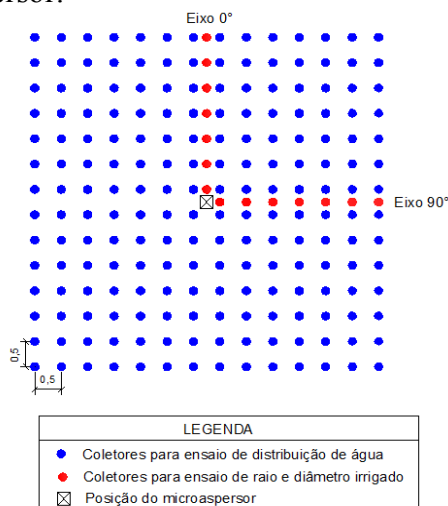
Os microaspersores escolhidos foram submetidos à foram isoladamente submetidos à pressão de operação de 250 kPa (mediana da faixa de operação dos emissores) por um período de 1 hora.

O ensaio foi realizado segundo a norma ABNT (2004), com total ausência de vento. Utilizou-se de uma malha quadriculada de coletores de área útil igual a 44 m^2 , espaçados de 0,50 m totalizando 196 coletores, dispostos no piso do laboratório (Figura 1). Os coletores utilizados têm diâmetro de 80 mm e altura de 100 mm.

A aferição da pressão foi feita por meio de um manômetro de Bourdon e outro de coluna de mercúrio do tipo “U” (deprimômetro) com 4,0 m de altura, ambos instalados na

tubulação alimentação do microaspersor, próximo ao conector do microtubo. A finalidade de uso do manômetro de mercúrio foi de assegurar o registro de pequenas variações na pressão do sistema que poderiam interferir de forma direta na avaliação.

Figura 1. Disposição da malha de coletores para ensaio de uniformidade de distribuição de água por um microaspersor.



O volume de água de cada um dos coletores foi lido com uma proveta graduada de 25 mL com subdivisões de 1,0 mL. Através da relação entre o volume coletado (mL) e a área do coletor (m²) foi calculada a lâmina aplicada pelo microaspersor que, dividida pelo tempo, resultou na intensidade de aplicação do mesmo (mm h⁻¹). Foram descartadas as leituras dos coletores distanciados mais que duas vezes o raio irrigado pelo microaspersor.

A uniformidade de aplicação foi estimada por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (CHRISTIANSEN, 1942) utilizando a média dos desvios absolutos em relação à média das precipitações (Equação 1).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Li - \bar{L}|}{n \cdot \bar{L}} \right) \quad (1)$$

em que,

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

\bar{L} - precipitação média ponderada, mm;

L_i - precipitação coletada nos pluviômetros de ordem i , mm;

$|L_i - \bar{L}|$ - valor absoluto dos desvios, mm;

N - número de observações;

E pelo coeficiente de distribuição (CUD) (CRIDDLE et al., 1956) relacionando as 25% menores precipitações (Equação 2).

$$CUD = \left(\frac{q_{25}}{q} \right) \quad (2)$$

em que,

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %.

q_{25} - média do menor quartil (25%), $L h^{-1}$;

q - média das vazões coletadas, $L h^{-1}$

A classificação dos valores de CUC e CUD foi definida em função dos parâmetros apresentados na tabela 1.

Na realização dos cálculos de CUC e CUD foi utilizado o aplicativo computacional CATH 3D, versão 4.45 (ALLEN, 1992).

Tabela 1. Classificação dos valores de desempenho de sistemas de irrigação localizada em função do CUC e CUD

Classificação	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	> 90	> 84
Bom	> 80 - 90	> 68 - 84
Razoável	> 70 - 80	> 52 - 68
Ruim	60 - 70	36 - 52
Inaceitável	< 60	< 36

Fonte: Mantovani (2001)

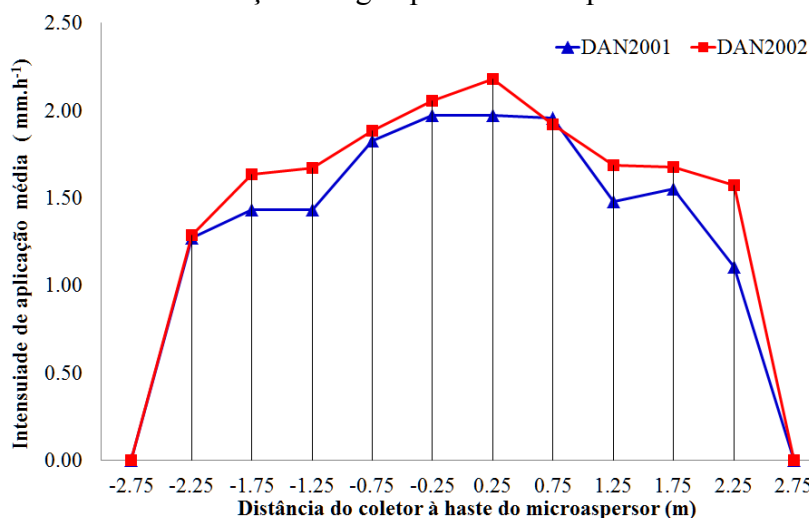
O diâmetro irrigado pelo microaspersor foi obtido multiplicando o raio médio irrigado por 2, desconsiderando aqueles coletores que receberam taxa de aplicação inferior a $0,13 \text{ mm h}^{-1}$ (ABNT, 2004).

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste F, e para comparação de médias o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

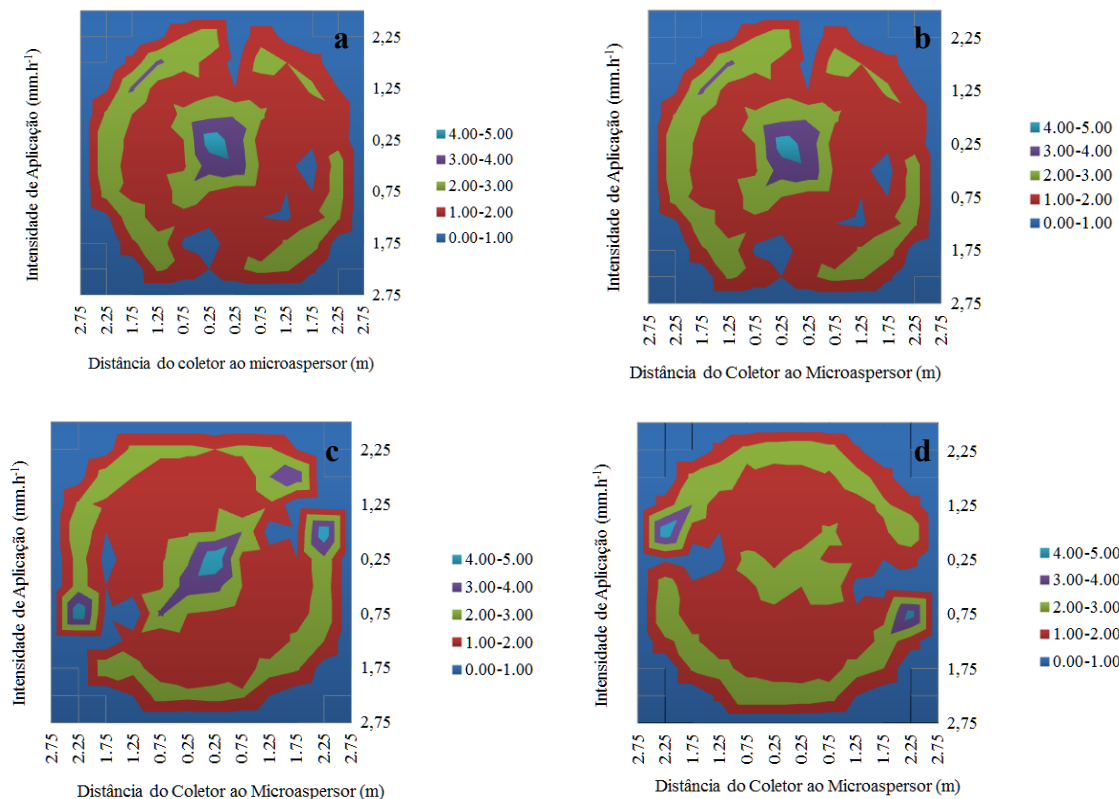
No ensaio de distribuição pluviométrica foi observado um raio irrigado de 2,75 m para os microaspersores DAN 2001 e 2002 (Figura 2). Resultado semelhante foi encontrado por Andrade (2013) em trabalho realizado com microaspersor modular novo e usado, em que o raio de alcance foi igual ao informado pelo fabricante.

Figura 2. Perfil radial de distribuição de água pelos microaspersores Dan 2001 e Dan 2002



Observou-se nos microaspersores número 2, 4 e 6 do modelo DAN 2001 que os maiores valores de precipitação variaram de 4,0 a 5,0 mm h⁻¹ e ocorreram a 0,25 m da haste do microaspersor e os menores valores de 1,0 a 2,0 mm h⁻¹ a 2,25 m.

Figura 3. Isograma do padrão de molhamento do microaspersor DAN 2001 - micro n° 2 (a); micro n° 4 (b); micro n° 6 (c) e micro n° 9 (d).



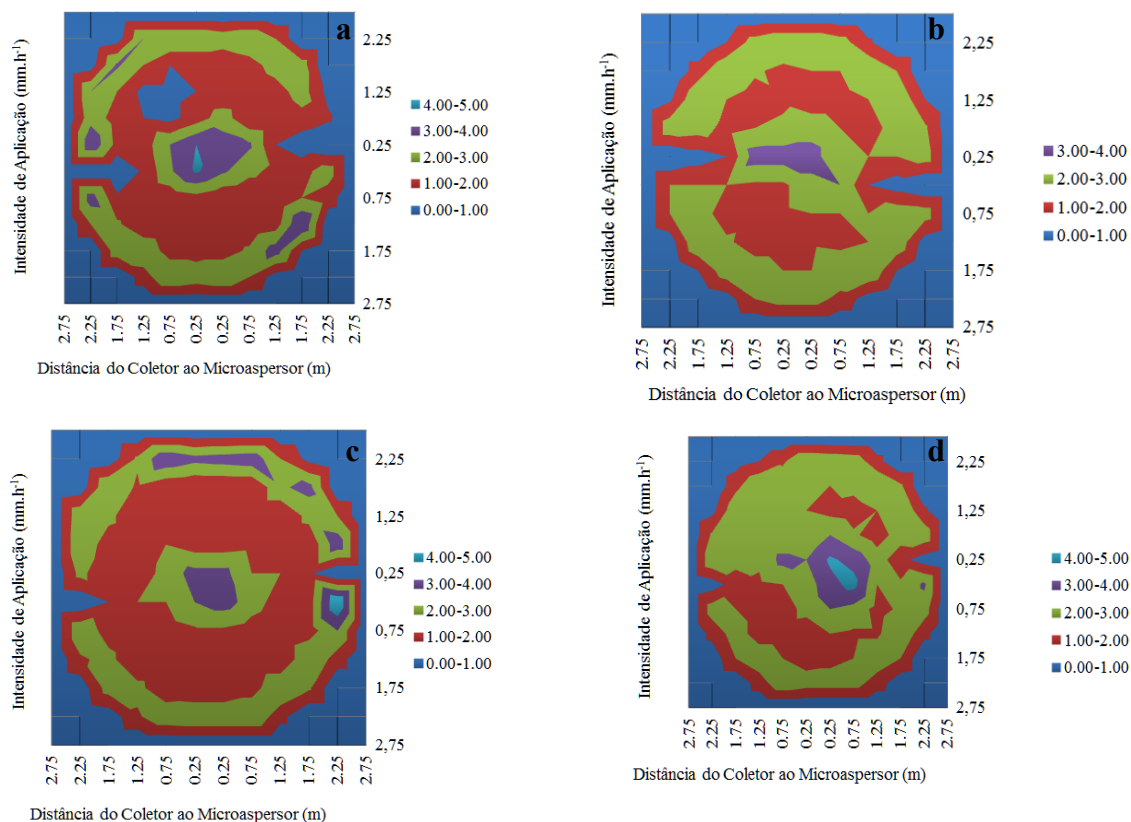
Para o microaspersor 9 (Figura 3d) a precipitação máxima variou de 2,0 a 3,0 mm h⁻¹ à 0,25 m de distância da haste do microaspersor, valores pouco abaixo daqueles observados nos demais microaspersores avaliados do modelo DAN 2001.

O mesmo perfil de distribuição do presente estudo foi relatado por Conceição e Coelho (2002) trabalhando com microaspersor DAN 2001, onde foi observada maior precipitação nos coletores à 0,5 m da haste do microaspersor, mesmo quando utilizado bocal de maior vazão e maior raio de molhamento.

Os isogramas do padrão de molhamento dos microaspersores DAN 2002 estão representados na Figura 4.

Foi observada intensidade de 4,0 a 5,0 mm h⁻¹ somente nos microaspersores de número 2 e 9, sendo mais expressivas as de 3,0 a 4,0 mm h⁻¹. Embora o comportamento de ocorrência de maiores precipitações próximas ao microaspersor tenha sido semelhante ao observado no outro modelo.

Figura 4. Isograma do padrão de molhamento do microaspersor DAN 2002 - micro n° 2 (a); micro n° 4 (b); micro n° 6 (c) e micro n° 9 (d)

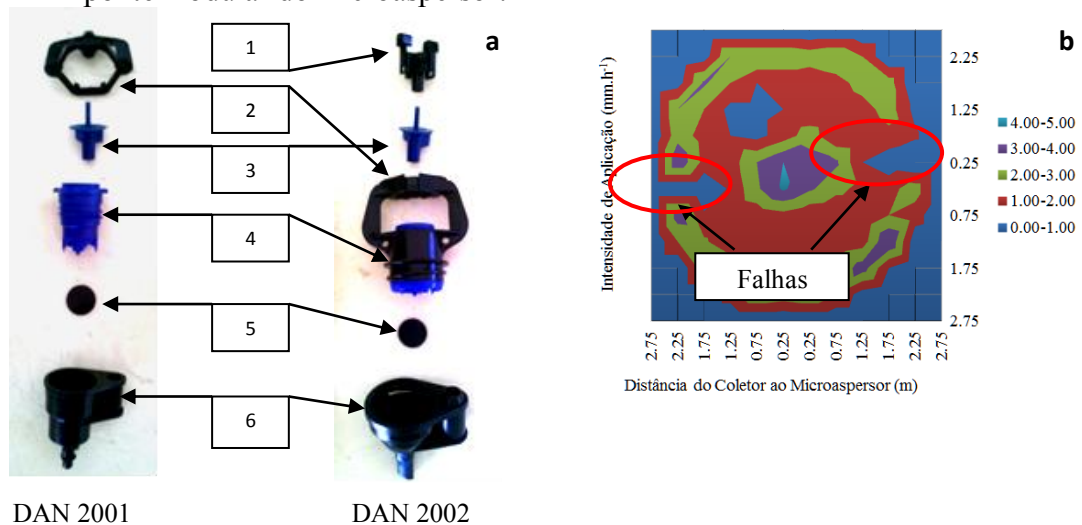


Intensidades de 2,0 a 3,0 mm h⁻¹ foram observadas aos 2,25 m no microaspersor DAN 2001 quando comparado ao DAN 2002.

Soares (2013) relata comportamento de distribuição espacial da precipitação similar aos encontrados neste ensaio, trabalhando com microaspersores Eden Twister em posição normal e invertida.

As pequenas falhas no perfil de molhamento dos microaspersores, observadas nas Figuras de 3 e 4 ocorreram por efeito da interferência da ponte modular de sustentação do rotor/asa giratória no alcance do jato e na qualidade de distribuição de água (Figura 5).

Figura 5. Componentes dos microaspersores DAN 2001 e DAN 2002 (b): 1-Flange; 2-Ponte modular; 3-Rotor; 4-Bocal; 5-Diafragma regulador de vazão; 6-Corpo (b) e indicação das falhas ocorridas no perfil de distribuição de água causados pela ponte modular do microaspersor.



Quando simulada uma condição de 100% de sobreposição do raio de alcance dos microaspersores (2,75 x 2,75 m), o microaspersor DAN 2001 alcançou valores médios de 80,22% de CUC e 71,35% para o CUD e o microaspersor DAN 2002 valores de 83,21% e 75,39 de CUC e CUD, respectivamente (Tabela 2).

Os microaspersores DAN 2001 e DAN 2002 foram classificados como “bom” por apresentarem CUC entre 80 e 90% e CUD entre 68 à 84% segundo Mantovani (2001).

Tabela 2. Valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para os microaspersores modelo DAN 2001 e DAN 2002 com sobreposição de 100% (2,75 x 2,75 m)

Microaspersor	C.U (%)	Repetições				Média
		1 (2)*	2 (4)*	3 (6)*	4 (9)*	
DAN2001	CUC	82,70	72,11	80,10	85,98	80,22 a
	CUD	72,55	59,18	75,19	78,50	71,35 a
DAN2002	CUC	80,81	77,89	87,92	86,20	83,21 a
	CUD	71,87	67,29	83,79	78,61	75,39 a

*Valores entre parênteses são os números de identificação dos microaspersores, segundo ABNT (2004).

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si.

Não foram registradas diferenças significativas entre os valores de CUC e CUD para os microaspersores ensaiados. Os coeficientes de variação foram de 6,52 e 10,77% para os valores de CUC e CUD, respectivamente.

6 CONCLUSÃO

O diâmetro de molhamento dos microaspersores DAN 2001 e DAN 2002 foi de 5,5 m e a maior precipitação observada de 5,0 mm h⁻¹ ocorreu à 0,25 m da estaca do microaspersor, decrescendo gradativamente com a distância.

Os dois microaspersores avaliados apresentam boa uniformidade de aplicação de água.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. **Cath-3D sprinkler analysis software: user's manual**. Logan: Utah State University, 1992. 14 p.

ANDRADE, S. M. **Desempenho hidráulico de microaspersor autocompensante, novo e usado**. 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PNBR 04:015.08-015: irrigação localizada: microaspersores: requisitos gerais e métodos de ensaio**. São Paulo, 2004. 11 p.

BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; MARCUZZO, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 52-61, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000100006>>. Acesso em: 02 fev. 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.

CASTIBLANCO, C. J. M. **Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124 p.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO, R. D. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. 2002. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D. G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington: Soil Conservation Service - USDA, Agricultural Handbook, 82, 1956. 24 p.

FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. de. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2012. 356 p.

FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; HELBEL JÚNIOR, C. Produtividade do feijoeiro sob diferentes uniformidades de distribuição de água na superfície e na subsuperfície do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 414-425, 2007.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 2, p.678-684, 1974.

MANTOVANI, E. C. **AVALLIA**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV. 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed. atual. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355 p.

SOARES, C. A. **Caracterização hidráulica do microaspersor Eden Twister em posição normal e invertida**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.