

Desempenho do aspersor NaanDanJain 435 em função da posição do defletor

Influence of the deflector position on the performance of a NaanDanJain sprinkler model

Ana Paula Pires Maciel GUIRRA^{1,2}; José Renato ZANINI³; Elcides Rodrigues da SILVA⁴

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

² Autor para correspondência – Pós-graduando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP – FCA, CEP 18.610-307 – Botucatu; anappmg_irrig@yahoo.com.br

³ Prof. Doutor, UNESP – FCAV – Departamento de Engenharia Rural; jrzanini@fcav.unesp.br

⁴ Professor Assistente do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) e Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU) - Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo - UNESP - FCAV - Departamento de Engenharia Rural; ers.hidro@gmail.com

Resumo

A maioria dos catálogos técnicos dos fabricantes de aspersores para irrigação não especifica, para as diferentes posições do defletor e pressões de serviço, o perfil radial de distribuição de água de seus emissores, limitando-se à apresentação de valores de vazão e raio de alcance. Devido à ausência dessas informações, neste trabalho, teve-se como objetivo avaliar o desempenho do aspersor NaanDanJain bocal 3,5 mm (cor azul), modelo 435 ½" M, operando nas pressões de 100; 200; 300 e 400 kPa, em cinco posições do defletor de ajuste (30°; 21,4°; 12,8°; 4,2° e 0°). Para a determinação dos parâmetros avaliados, utilizou-se o método da malha, e com o auxílio do aplicativo computacional CATCH-3D, calculou-se a sobreposição das lâminas de água com oito espaçamentos. A simulação da uniformidade de aplicação de água (CUC e CUD) apresentou melhores resultados para o espaçamento 6 x 6 m nas pressões de 200; 300 e 400 kPa. O desempenho hidráulico do aspersor é bastante afetado pela pressão de serviço e pela posição do defletor, influenciando o raio de alcance, o perfil de distribuição e a uniformidade de distribuição de água. O defletor contido no aspersor permite regulação para situações distintas de distribuição de água, possibilitando ao projetista e ao irrigante sua utilização em amplas situações.

Palavras-chave adicionais: coeficientes de uniformidade; irrigação por aspersão; simulação; uniformidade de distribuição

Abstract

Most of the technical catalogs of irrigation sprinklers do not specify, for the different deflector positions and working pressures, the radial profile of water distribution of their emitters restricting themselves to inform flow and reach values. Based on the absence of that information, this research work viewed to evaluate the performance of the NaanDanJain sprinkler model 435 ½", with a nozzle of 3.5 mm (blue), operating under pressures of 100, 200, 300, and 400 KPa and the deflector adjusted to positions of 30, 21.4, 12.8, 4.2, and 0°. To evaluate the chosen parameters, the mesh method was used and, with the help of the computational application CATCH 3D, the overlapping water depth with eight combinations were calculated. The water application uniformity simulation (CUC and CUD) best results were shown by the 6 X 6 m spacing at the pressures of 200, 300 and 400 KPa. The sprinkler hydraulic performance is greatly affected by the operating pressure and deflector position affecting the reach radius, the profile and the uniformity of water distribution. The deflector in the sprinkler permits adjustments for distinct conditions of water distribution making possible for both the project engineer and the farmer to work at practically any target operating scale.

Additional keywords: uniformity coefficients, sprinkler irrigation, simulation, distribution uniformity

Introdução

A agricultura irrigada tem atingido grande expressividade no setor produtivo, sendo responsável por 44% da produção mundial de alimentos (CHRISTOFIDIS, 2008). Neste panorama, a irrigação tornou-se importante técnica no desenvolvimento da agricultura (COSTA, 2003),

permitindo que o material genético vegetal expressasse em campo todo seu potencial de produção. Dentre os diversos métodos de irrigação, a irrigação por aspersão caracteriza-se pelo fluxo de água através dos emissores denominados aspersores, formando gotas ao entrar em contato com o ar, assemelhando-se a uma chuva. Em todos os sistemas de aspersão, o

conhecimento das características de distribuição de água dos aspersores é essencial para os projetistas estabelecerem as melhores condições operacionais do sistema de irrigação, de modo a aperfeiçoar a uniformidade de aplicação de água (PRADO et al., 2007).

A uniformidade de distribuição de água pelos sistemas de irrigação possui papel importante na otimização do uso da água, repercutindo diretamente na eficiência e na produção (CARRIÓN et al., 2001). Geralmente, a uniformidade de distribuição é a principal maneira usada para determinar se um sistema de irrigação é aceitável ou não (BRENNAN, 2008).

CHRISTIANSEN (1942) caracterizou pela primeira vez a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação, utilizando aspersores rotativos e determinando o efeito da pressão de serviço, da rotação, do espaçamento entre aspersores e da velocidade do vento. O autor estabeleceu, a partir desse estudo, o parâmetro conhecido como Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). CLEMMENS & MOLDEN (2007) afirmam que esse método é o mais utilizado dentre os coeficientes de uniformidade.

Outra medida de uniformidade usada é a razão entre a média dos menores valores das lâminas de irrigação, representando 25% dos valores (q_{25}) e a lâmina média aplicada. Tal coeficiente é denominado Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Baixos valores de CUD indicam que excessivas perdas por percolação ocorreriam se toda a área recebesse lâmina maior ou igual à necessária (MANTOVANI et al., 2007).

Como alternativa para a caracterização de aspersores com economia de recursos materiais e financeiros, além de ganhos de tempo, BORGES JÚNIOR et al. (2008) citaram o uso de modelos computacionais para cálculo da uniformidade de aplicação de água.

Diversos fatores influenciam na uniformidade de distribuição de água na irrigação, desde os fatores de projeto até os climáticos, sendo que, na irrigação por aspersão, um dos mais importantes é a velocidade do vento, mas também o diâmetro do bocal e a posição do defletor. O defletor tem por finalidade direcionar o jato de água para a área a ser irrigada. Esse dispositivo situa-se sobre o bocal do aspersor, permitindo grande conjunto de combinações e possibilitando utilizar o aspersor para diversas condições de operação. Conforme MARTINS et al. (2012), o defletor existente nos aspersores contribui para o fracionamento do jato que sai através do bocal, com o intuito de melhorar a uniformidade de distribuição de água. O conhecimento de sua atuação permite ao projetista e ao usuário do sistema de irrigação a utilização do aspersor em

maior amplitude de situações, possibilitando alterações do raio de molhamento, em função da fase da cultura, do formato da parcela irrigada e do espaçamento entre aspersores. COELHO & FOLEGATTI, (1998) comentam que pouco se sabe como as regulagens disponíveis nos emissores afetam seu desempenho no campo; o caso típico em que se verifica tal afirmação é o ponto de regulagem da mola do defletor-martelo. Esses autores concluíram que o nível de tensão da mola acoplada ao defletor (braço oscilante) de um aspersor de impacto altera, significativamente, o volume de água desviado do bocal principal do emissor, podendo atingir valores entre 4 e 40% da vazão total, dependendo do diâmetro do bocal e da pressão de operação. Também, quanto menor a pressão de operação, maior a porcentagem de volume de água desviado do bocal principal, pois, nas menores pressões, ocorre menor deslocamento angular do defletor-martelo, reduzindo o período de oscilação e aumentando a porcentagem de volume de água desviado.

O perfil radial de distribuição de água de um aspersor sofre alteração em função do tipo de bocal, pressão de serviço e uso do braço defletor (BERNARDO et al., 2006). Conforme KINCAID (1991), a utilização de aspersores com defletores ou aspersores com múltiplos bocais são técnicas que possibilitam encontrar a forma geométrica mais apropriada do perfil radial de distribuição de água, possibilitando maximizar a uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação e operar o sistema com menor pressão, reduzindo os custos de energia, sem alterar o espaçamento entre aspersores.

Avaliações de equipamentos para irrigação visam a quantificar seu desempenho, procurando sua adequação a uma determinada condição de utilização e a realização de estudos comparativos entre os dados fornecidos pelos fabricantes e os valores obtidos em campo, possibilitando melhor indicação de usos dos mesmos (AQUINO, 2006). De acordo com PRADO & COLOMBO (2009), a existência de inúmeras possibilidades de combinações de pressão de serviço e diâmetro de bocais faz com que os fabricantes não disponibilizem as características técnicas de distribuição de água de seus aspersores em catálogos.

Diante da importância do conhecimento da distribuição de água dos aspersores, é surpreendente a falta de informações técnicas a respeito dos diversos modelos de aspersores disponíveis no mercado. A maioria dos catálogos técnicos dos fabricantes não especifica, para as diferentes posições do defletor e pressões de serviço, o perfil radial de distribuição de água de seus aspersores, limitando-se à apresentação de valores de vazão e raio de alcance. No presente

estudo, teve-se como objetivo avaliar o desempenho do aspersor fabricado pela empresa NaanDanJain, modelo 435 ½”M, com bocal de 3,5 mm de diâmetro interno de saída (cor azul), operando com quatro pressões, em cinco posições do defletor de ajuste.

Material e métodos

O trabalho foi conduzido em área impermeabilizada, pavimentada, aproximadamente plana, com construções e árvores ao redor, formando quebra-vento.

Na área experimental, utilizou-se um sistema de motobomba para pressurizar a água succionada de um reservatório de 2.000 litros, mantendo-se a água do reservatório em nível constante, através de uma tubulação de polietileno com diâmetro de 25 mm até o tubo de subida do aspersor. Utilizou-se o aspersor de plástico, rotativo, de impacto, modelo 435 ½”M (Figura 1), com bocal de diâmetro interno de 3,5 mm (cor azul), fabricado pela empresa NaanDanJain. Esse aspersor é utilizado para irrigação em parques, jardins e culturas em geral e possui mecanismo de círculo completo, dispositivo que possibilita a irrigação setorial, e defletor de ajuste que possibilita modificar o perfil radial de distribuição de água. As posições do defletor podem ser reguladas em oito ângulos, em relação ao plano horizontal, variando de 0 a 30°. Dessas oito posições, foram avaliadas cinco (30°, 21,4°, 12,8°, 4,2°, 0°) devido à pequena variação entre um intervalo e outro. Na avaliação, foi utilizado o mecanismo de círculo completo (360°), e o aspersor foi operado a 0,6 m de altura, nas pressões de 100; 200; 300 e 400 kPa.

De acordo com o catálogo do fabricante (Tabela 1), para o bocal de 3,5 mm de diâmetro (cor azul), as vazões (Q) variam de 0,49 m³ h⁻¹ a 0,93 m³ h⁻¹ para as pressões (P) de 100 a 400 kPa, e os diâmetros (D) de molhamento situam-se entre 21 e 28 m, respectivamente.

Tabela 1 – Vazões (Q) e diâmetro de molhamento (D) do aspersor 435 ½”M, em função do diâmetro do bocal (∅ Bocal) e da pressão de operação (P). (Fonte: NAANDANJAIN, 2011). *Flow rate and wetting diameter of the sprinkler 435½”M* (Source: NAANDANJAIN, 2011).

| Tabela de desempenho | | | |
|----------------------|---------|-------------------------------------|-------|
| ∅Bocal (mm) | P (kPa) | Q (m ³ h ⁻¹) | D (m) |
| 3,5 | 100 | 0,49 | 21 |
| | 200 | 0,66 | 25 |
| | 300 | 0,81 | 27 |
| | 400 | 0,93 | 28 |

As variáveis meteorológicas pertinentes ao estudo (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento) foram monitoradas e registradas em intervalos regulares de 15 minutos, com uma estação automática, modelo Davis Instruments, localizada a 3 m da área de teste. A média geral da velocidade do vento nos testes foi 1,4 m s⁻¹, não ocorrendo, em nenhum dos testes, valores superiores a 2 m s⁻¹ (ABNT, 1999a).



Figura 1 – Aspersor NaanDanJain 435 ½”M com defletor de ajuste posicionado a 30°. *Sprinkler NaanDanJain 435 ½”M with adjustment deflector positioned at 30°.*

A ABNT (1999b) define a metodologia para ensaio de aspersores rotativos, destacando o método da malha e o método radial. O primeiro consiste em se espalhar coletores ao redor do aspersor, igualmente espaçados, formando uma malha. O segundo utiliza os coletores distribuídos ao longo de uma linha, radial ao aspersor. Para a realização dos testes, dispôs-se de uma malha composta de 144 coletores espaçados em 2 m (Figura 2), com o aspersor instalado no centro, à altura de 0,6 m da superfície pavimentada, resultando 0,65 m de diferença de altura do bocal do aspersor em relação à borda superior do coletor. Foram também dispostas duas linhas radiais de coletores, espaçados de 1,0 m a partir do aspersor, com a finalidade de obter o perfil radial de distribuição de água; para isso, foram também instalados quatro coletores na base do aspersor, para os quais se consideraram os valores aplicados a 0 m de distância.

A coleta de água foi feita com coletores de forma geométrica, troncocônica, cujo diâmetro interno é de 0,080 m e altura de 0,102 m.

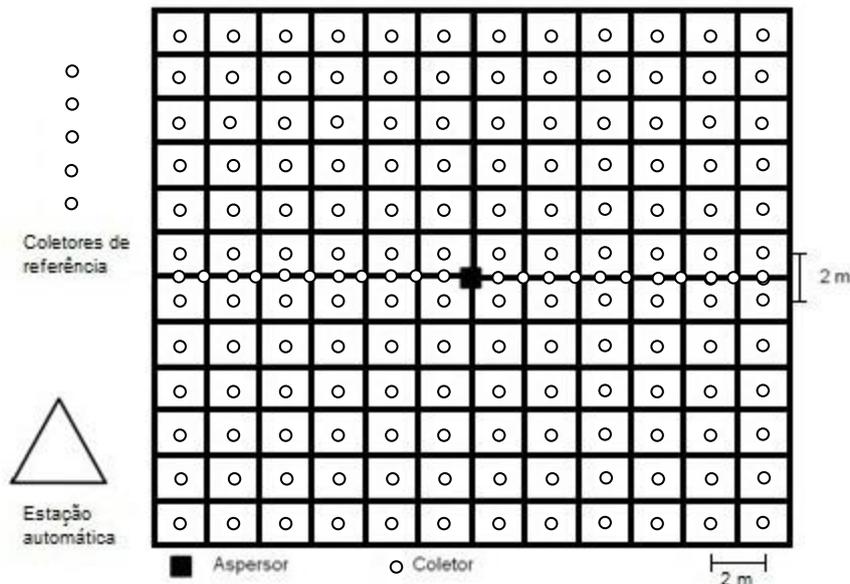


Figura 2 – Representação esquemática da disposição dos coletores, do aspersor e da estação automática para o teste com o aspersor NaanDanJain 435 ½”M. *Schematic representation of the experimental set-up for NaanDanJain 435 ½”M sprinkler, including catch cans and automatic weather station.*

Durante os ensaios, utilizou-se manômetro de Bourdon previamente aferido, graduado de 0 a 60 metros de coluna de água (588,4 kPa), com subdivisões de escala de 1 metro de coluna de água (9,81 kPa) para medição da pressão de operação na base do aspersor. O controle da pressão de operação do aspersor foi realizado, utilizando-se de um registro de gaveta na saída da bomba e um registro de agulha na base do tubo de elevação do aspersor. A duração de cada ensaio foi de 60 minutos, sendo o volume de água armazenado em cada coletor medido com proveta graduada logo após o término da aplicação.

Para a estimativa da evaporação da água dos coletores durante o ensaio, foram dispostos cinco coletores como referência, posicionados a 5 m da área de teste. Os coletores tinham volumes de água conhecidos, sendo os volumes medidos novamente após o término da leitura dos volumes coletados na malha durante o ensaio. Essas medições possibilitaram considerar desprezível a evaporação no decorrer dos ensaios, pois todas as leituras foram feitas durante o período noturno, e com velocidades do vento inferiores a 2 m s^{-1} .

Para se avaliar as variações de vazões entre os aspersores, em virtude de diferenças inerentes ao processo de fabricação, foram utilizados três aspersores submetidos às pressões recomendadas pelo fabricante, de 100; 200; 300 e 400 kPa, durante um intervalo de tempo de 5 minutos. Utilizou-se o método direto de medição de vazão, pesando-se a água coletada em um tambor e transformando-se o peso de água em

volume para cálculo da vazão, sendo o resultado a média aritmética simples de três repetições. A partir dos dados de vazão, calcularam-se a vazão média e o seu desvio padrão (Equação 1); em seguida, determinou-se o coeficiente de variação de fabricação (CVf), dividindo-se o desvio-padrão pela média da vazão. A determinação do CVf permitiu comprovar a representatividade dos três aspersores como repetições. A representatividade foi baseada na classificação de uniformidade de vazão de SOLOMON (1979), descrita na Tabela 2.

$$CVf = 100 \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}}{\sqrt{n-1} q_m} \quad (1)$$

em que:

CVf - coeficiente de variação de fabricação (%);
 q_1, q_2, \dots, q_n - vazão de cada emissor (L h^{-1});
 q_m - vazão média dos emissores (L h^{-1}) e
 n - número de emissores do lote de amostragem.

Tabela 2 – Classificação do Coeficiente de Variação de Fabricação (CVf), segundo proposta de SOLOMON (1979). *Manufactor coefficient of variation (CVf) according to proposal by Solomon (1979).*

| Classificação | CVf (%) |
|---------------|-------------|
| Excelente | Até 3 |
| Médio | 4 a 7 |
| Marginal | 8 a 10 |
| Pobre | 11 a 14 |
| Ruim | Acima de 15 |

Utilizou-se, neste estudo, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (CHRISTIANSEN, 1942), descrito pela seguinte equação:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - Y_m|}{n Y_m} \right] \quad (2)$$

em que:

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);

Y_i - lâmina de água coletada no i -ésimo coletor (mm);

Y_m - lâmina média de água coletada (mm);

n - número de observações.

Outra medida de uniformidade utilizada foi o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Segundo FRIZZONE & DOURADO NETO (2003), sua origem é creditada ao S.C.S-USDA, sendo calculado com a equação 3:

$$CUD = 100 \left(\frac{Y_{25}}{Y_m} \right) \quad (3)$$

em que:

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%);

Y_{25} - média das menores lâminas, representando 25% do total das lâminas obtidas;

Y_m - média de todas as lâminas obtidas.

Os valores de CUC e CUD foram calculados para as diferentes condições do ensaio (ângulo do defletor, pressão de serviço e espaçamento entre aspersores). Estes dois índices de uniformidade trabalham bem em conjunto, completando-se, pois, segundo BENAMI & HORE (1964), os valores de CUC não dão ênfase aos desvios abaixo da média, que são mais críticos na prática, diferente do CUD, que utiliza a média de 25% dos menores valores de lâmina de irrigação.

Para o cálculo das sobreposições das lâminas de irrigação, foram utilizados os espaçamentos de 6 x 6; 6 x 8; 6 x 10; 6 x 12; 8 x 8; 8 x 12; 10 x 12 e 12 x 12 m, e também os resultados relativos à sobreposição e à determinação da uniformidade de distribuição de água pelo aspersor foram obtidos, utilizando-se do aplicativo computacional "Sprinkler Catch Can Overlap Program CATCH 3D", versão 4.45 (CATCH-3D, 2004). O perfil médio de distribuição de água foi obtido, utilizando-se de valores médios da distribuição de água das três repetições realizadas para cada pressão.

Para a interpretação dos dados obtidos de CUC e CUD, seguiu-se a proposta de MANTOVANI et al. (2007), apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos valores de CUC e CUD para sistemas de aspersão, segundo MANTOVANI et al. (2007). *Classification of CUC and CUD values for sprinkler systems, according to Mantovani et al. (2007).*

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

Resultados e discussão

O aspersor NaanDanJain 435 apresentou CVf variando entre 1,12 e 1,50%, atingindo grau máximo de classificação definido como Excelente por SOLOMON (1979), mostrando pequena variação no fluxo dos emissores devido ao processo de fabricação (Tabela 4). De acordo com o mesmo autor, o coeficiente de variação de fabricação é o melhor parâmetro para a avaliação das diferenças individuais entre os emissores, sendo uma informação que representa bem o projeto do emissor, os materiais usados em sua construção e os cuidados aplicados em sua fabricação.

Tabela 4 – Valores obtidos para Coeficiente de Variação de Fabricação (CVf) e classificação segundo proposta de SOLOMON (1979). *Manufacturer coefficient of variation (CVf) and classification according to Solomon (1979).*

| Pressão (kPa) | Vazão ($m^3 h^{-1}$) | CVf (%) | Classificação (Solomon, 1979) |
|---------------|------------------------|---------|-------------------------------|
| 100 | 0,49 | 1,12 | Excelente |
| 200 | 0,66 | 1,25 | Excelente |
| 300 | 0,81 | 1,37 | Excelente |
| 400 | 0,93 | 1,50 | Excelente |

PINO (1998), estudando o desempenho de três modelos de aspersores escamoteáveis, menciona que diferenças obtidas entre repetições, para mesmos modelos de aspersores, podem ser atribuídas ao processo de fabricação desses ou de seus componentes, como os bocais. Em se tratando de emissores usados, as diferenças entre vazões podem ser decorrentes de outros aspectos não relacionados ao processo de fabricação, e sua avaliação é denominada coeficiente de variação de vazão (CVq).

O resultado da análise de regressão para a avaliação da pressão no CVf mostrou efeito linear e potencial para a vazão (Figura 3).

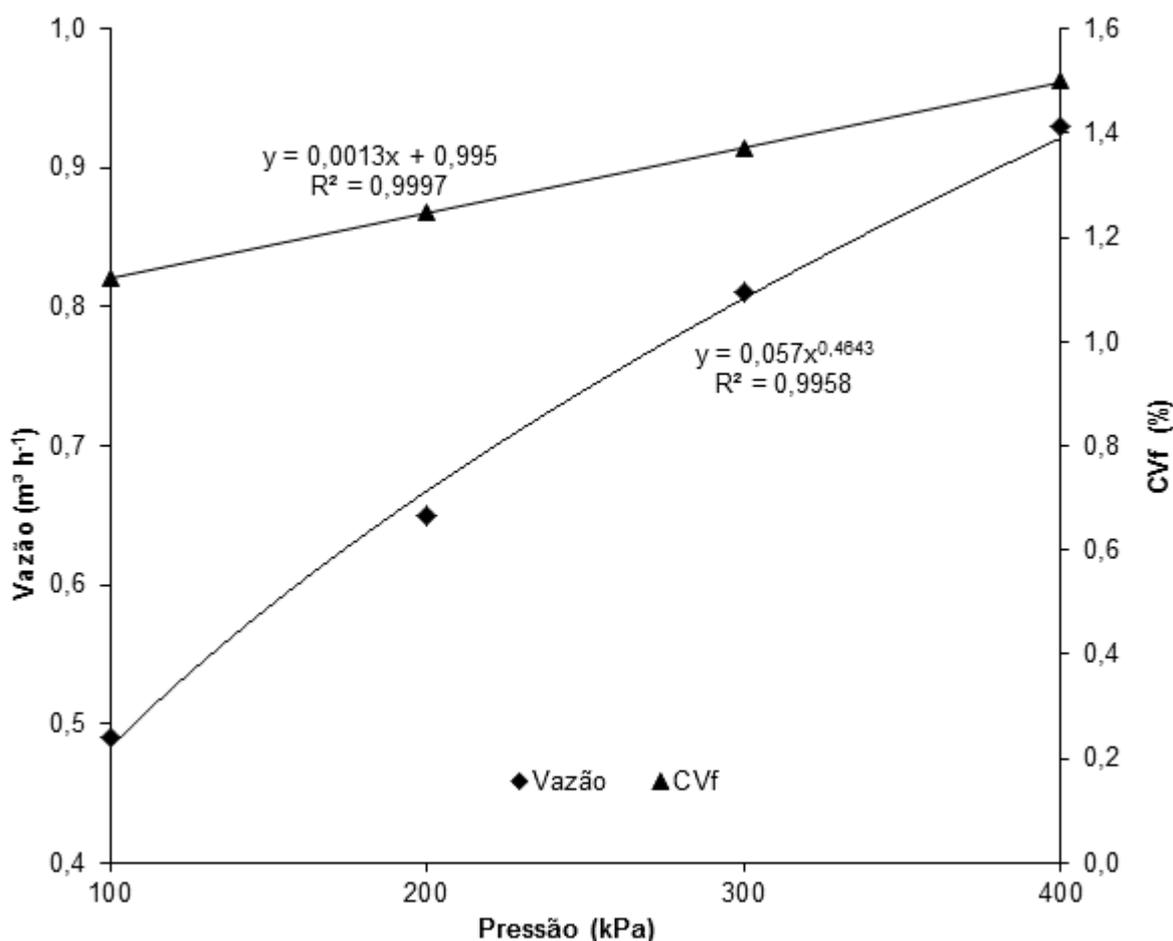


Figura 3 – Curvas características do emissor NaanDanJain modelo 435 ½”M bocal de 3,5 mm (azul) (vazão x pressão; coeficiente de variação – CVf x pressão). *Characteristic curves of sprinkler NaanDanJain model 435 ½”M nozzle 3.5 mm (blue) (flow rate x pressure; variation coefficient of manufacturing – CVf x pressure).*

A equação $Q = 0,057H^{0,4643}$ representa a equação de ajuste da relação vazão x pressão para o bocal de 3,5 mm (azul), obtida através da média das vazões registradas e as respectivas pressões de serviço (Figura 3). O expoente da equação característica foi igual a 0,4643, o que

caracteriza, segundo KELLER & BLIESNER (1990), um emissor de fluxo turbulento.

Em todas as pressões estudadas, os valores médios das vazões obtidas durante o ensaio foram iguais aos informados pelo fabricante.

Tabela 5 – Vazões médias encontradas durante os ensaios e vazões informadas pelo fabricante. *Flow rates found during the test and flow rates informed by the manufacturer.*

| Pressão (kPa) | Vazão obtida (m³ h⁻¹) | Vazão informada (m³ h⁻¹) | Erro (%) |
|---------------|-----------------------|--------------------------|----------|
| 100 | 0,49 | 0,49 | 0 |
| 200 | 0,66 | 0,66 | 0 |
| 300 | 0,81 | 0,81 | 0 |
| 400 | 0,93 | 0,93 | 0 |

Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 estão representados os valores médios de CUC, CUD e raio de molhamento para os espaçamentos e

pressões adotados, simulados pelo aplicativo computacional CATCH-3D.

Tabela 6 – Valores médios obtidos de CUC(%), CUD(%) e raio de molhamento (Raio) para a pressão de 100 kPa, em função do espaçamento entre aspersores e ângulo de ajuste, simulados pelo aplicativo CATCH-3D. *Mean CUC (%) and CUD (%) values and wetting range (Raio) for the pressure of 100 kPa as determined by the distance between sprinklers and adjustment angle as simulated by the application CATCH-3D.*

| Ângulo do defletor | Coeficientes (%) | Espaçamento entre aspersores (m x m) | | | | | | | | Médias (%) | Raio (m) |
|--------------------|------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------------|----------|
| | | 6x6 | 6x8 | 6x10 | 6x12 | 8x8 | 8x12 | 10x12 | 12x12 | | |
| 30° | CUC | 87,5 | 85,6 | 84,7 | 73,6 | 76,2 | 66,7 | 67,7 | 60,5 | 75,3 | 8 |
| | CUD | 77,9 | 77,8 | 71,9 | 66,0 | 57,2 | 48,9 | 40,0 | 27,5 | 58,4 | |
| 21,4° | CUC | 87,6 | 82,7 | 83,8 | 75,7 | 76,2 | 64,1 | 67,8 | 62,5 | 75,0 | 7 |
| | CUD | 78,0 | 75,7 | 70,0 | 65,7 | 57,5 | 50,9 | 40,5 | 28,9 | 58,4 | |
| 12,8° | CUC | 87,3 | 83,0 | 84,0 | 75,7 | 76,3 | 65,8 | 67,9 | 3,02 | 67,8 | 6 |
| | CUD | 77,3 | 75,9 | 70,0 | 65,4 | 53,4 | 53,0 | 40,9 | 15,8 | 56,5 | |
| 4,2° | CUC | 79,8 | 75,0 | 83,8 | 68,8 | 77,7 | 65 | 52,9 | 28,1 | 66,4 | 5 |
| | CUD | 63,3 | 66,8 | 78,9 | 38,0 | 73,6 | 34,7 | 20,3 | 16,8 | 48,9 | |
| 0° | CUC | 80,0 | 75,0 | 81,0 | 65,7 | 74,9 | 60,4 | 48,1 | 28,1 | 64,5 | 4 |
| | CUD | 59,7 | 66,7 | 72,6 | 24,0 | 70,3 | 22,5 | 19,8 | 16,8 | 44,0 | |
| Médias (%) | CUC | 84,4 | 80,3 | 83,5 | 71,9 | 76,2 | 64,5 | 60,8 | 36,4 | - | - |
| | CUD | 71,3 | 72,6 | 72,7 | 51,8 | 64,4 | 42,0 | 32,3 | 21,2 | - | - |

Tabela 7 – Valores médios obtidos de CUC(%), CUD(%) e raio de molhamento (Raio) para a pressão de 200 kPa, em função do espaçamento entre aspersores e ângulo de ajuste, simulados pelo aplicativo CATCH-3D. *Mean CUC (%) and CUD (%) values and wetting range (Raio) for the pressure of 200 kPa as determined by the distance between sprinklers and adjustment angle as simulated by the application CATCH-3D.*

| Ângulo do defletor | Coeficientes (%) | Espaçamento entre aspersores (m x m) | | | | | | | | Médias (%) | Raio (m) |
|--------------------|------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------------|----------|
| | | 6x6 | 6x8 | 6x10 | 6x12 | 8x8 | 8x12 | 10x12 | 12x12 | | |
| 30° | CUC | 88,5 | 83,2 | 89,5 | 85,5 | 81,2 | 82,6 | 77,5 | 70,8 | 82,3 | 11 |
| | CUD | 82,6 | 76,5 | 81,5 | 70,0 | 69,0 | 68,2 | 60,7 | 55,5 | 70,5 | |
| 21,4° | CUC | 93,6 | 86,4 | 91,5 | 82,3 | 80,5 | 80 | 76,5 | 70,8 | 82,7 | 10 |
| | CUD | 89,8 | 75,0 | 87,6 | 69,4 | 64,5 | 64,5 | 60,5 | 60,8 | 71,5 | |
| 12,8° | CUC | 95,8 | 87,5 | 82,5 | 88,5 | 84,9 | 86,9 | 83,0 | 85,2 | 86,8 | 9 |
| | CUD | 90,8 | 80,9 | 73,0 | 81,0 | 81,9 | 80,1 | 74,9 | 75,5 | 79,8 | |
| 4,2° | CUC | 96,4 | 84,6 | 81,5 | 86,6 | 83,7 | 86,7 | 81,6 | 83,7 | 85,6 | 7 |
| | CUD | 89,4 | 79,3 | 71,8 | 80,7 | 80,3 | 80,0 | 75,4 | 74,5 | 78,9 | |
| 0° | CUC | 90,5 | 90,5 | 90,0 | 80,9 | 83,4 | 75,1 | 73,6 | 74,5 | 82,3 | 7 |
| | CUD | 87,9 | 85,1 | 84,0 | 66,5 | 75,9 | 65,9 | 58,2 | 56,3 | 72,5 | |
| Médias (%) | CUC | 93,0 | 86,5 | 87,0 | 84,7 | 82,7 | 82,3 | 78,4 | 77,0 | - | - |
| | CUD | 88,0 | 79,4 | 79,6 | 73,5 | 74,3 | 71,7 | 65,9 | 64,6 | - | - |

Valores de CUC e CUD sombreados representam valores considerados excelentes por MANTOVANI et al. (2007). *Value of CUC and CUD shaded represent values considered excellent by Mantovani et al. (2007).*

Tabela 8 – Valores médios obtidos de CUC(%), CUD(%) e raio de molhamento (Raio) para a pressão de 300 kPa, em função do espaçamento entre aspersores e ângulo de ajuste, simulados pelo aplicativo CATCH-3D. *Mean CUC (%) and CUD (%) values and wetting range (Raio) for the pressure of 300 kPa as determined by the distance between sprinklers and adjustment angle as simulated by the application CATCH-3D.*

| Ângulo do defletor | Coeficientes (%) | Espaçamento entre aspersores (m x m) | | | | | | | | Médias (%) | Raio (m) |
|--------------------|------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------------|----------|
| | | 6x6 | 6x8 | 6x10 | 6x12 | 8x8 | 8x12 | 10x12 | 12x12 | | |
| 30° | CUC | 92,7 | 93,2 | 85,7 | 85,7 | 87,4 | 84,1 | 85,0 | 78,9 | 86,6 | 11 |
| | CUD | 89,5 | 87,5 | 78,5 | 80,0 | 81,6 | 75,6 | 75,0 | 66,0 | 79,3 | |
| 21,4° | CUC | 86,5 | 83,2 | 85,0 | 83,0 | 88,5 | 78,8 | 77,3 | 73,5 | 81,9 | 11 |
| | CUD | 85,6 | 73,1 | 84,6 | 72,0 | 83,4 | 68,3 | 65,0 | 64,0 | 74,5 | |
| 12,8° | CUC | 92,3 | 86,5 | 86,5 | 88,9 | 83,0 | 85,2 | 82,0 | 77,6 | 72,8 | 9 |
| | CUD | 86,5 | 79,6 | 84,6 | 77,6 | 76,7 | 76,4 | 71,2 | 69,2 | 77,7 | |
| 4,2° | CUC | 91,5 | 81,5 | 90,5 | 89,2 | 78,6 | 84,4 | 84,6 | 77,6 | 84,7 | 9 |
| | CUD | 85,9 | 73,6 | 84,4 | 82,0 | 72,4 | 75,0 | 75,0 | 69,0 | 77,2 | |
| 0° | CUC | 91,9 | 89,1 | 92,0 | 83,2 | 83,4 | 78,4 | 77,3 | 78,5 | 84,2 | 8 |
| | CUD | 88,9 | 84,6 | 84,3 | 72,5 | 78,2 | 73,5 | 67,9 | 60,3 | 76,3 | |
| Médias (%) | CUC | 90,0 | 86,7 | 87,9 | 86,0 | 84,2 | 82,2 | 81,2 | 77,2 | - | - |
| | CUD | 87,3 | 79,6 | 83,3 | 76,6 | 78,5 | 73,7 | 70,8 | 62,7 | - | - |

Valores de CUC e CUD sombreados representam valores considerados excelentes por MANTOVANI et al. (2007). *Value of CUC and CUD shaded represent values considered excellent by Mantovani et al. (2007).*

Tabela 9 – Valores médios obtidos de CUC(%), CUD(%) e raio de molhamento (Raio) para a pressão de 400 kPa, em função do espaçamento entre aspersores e ângulo de ajuste, simulados pelo aplicativo CATCH-3D. *Mean CUC (%) and CUD (%) values and wetting range (Raio) for the pressure of 400 kPa as determined by the distance between sprinklers and adjustment angle as simulated by the application CATCH-3D.*

| Ângulo do defletor | Coeficientes (%) | Espaçamento entre aspersores (m x m) | | | | | | | | Médias (%) | Raio (m) |
|--------------------|------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------------|----------|
| | | 6x6 | 6x8 | 6x10 | 6x12 | 8x8 | 8x12 | 10x12 | 12x12 | | |
| 30° | CUC | 94,0 | 88,9 | 90,6 | 91,0 | 86,2 | 88,2 | 88,2 | 80,0 | 88,4 | 12 |
| | CUD | 89,8 | 80,1 | 87,9 | 87,0 | 72,1 | 80,0 | 76,0 | 70,9 | 80,5 | |
| 21,4° | CUC | 86,8 | 82,3 | 85,6 | 88,9 | 80,0 | 83,0 | 76,0 | 72,6 | 81,9 | 12 |
| | CUD | 83,0 | 73,2 | 83,5 | 81,0 | 74,3 | 66,0 | 65,0 | 64,0 | 73,7 | |
| 12,8° | CUC | 94,0 | 75,9 | 85,0 | 74,5 | 77,0 | 80,0 | 78,2 | 78,2 | 80,4 | 11 |
| | CUD | 87,6 | 68,9 | 76,4 | 69,8 | 72,3 | 66,5 | 66,7 | 68,6 | 72,1 | |
| 4,2° | CUC | 86,0 | 75,3 | 85,6 | 74,1 | 76,9 | 80,0 | 78,2 | 74,7 | 78,8 | 10 |
| | CUD | 75,6 | 68,6 | 76,4 | 70,0 | 71,3 | 66,4 | 66,8 | 62,7 | 69,7 | |
| 0° | CUC | 93,2 | 88,0 | 85,9 | 85,0 | 87,0 | 83,0 | 81,3 | 83,0 | 85,8 | 7 |
| | CUD | 85,0 | 85,6 | 64,0 | 74,0 | 84,0 | 74,1 | 73,0 | 70,1 | 76,2 | |
| Médias (%) | CUC | 90,8 | 82,1 | 86,5 | 82,7 | 81,4 | 82,8 | 80,4 | 77,7 | - | - |
| | CUD | 84,2 | 72,3 | 77,6 | 76,3 | 74,8 | 70,6 | 69,5 | 67,3 | - | - |

Valores de CUC e CUD sombreados representam valores considerados excelentes por MANTOVANI et al. (2007). *Value of CUC and CUD shaded represent values considered excellent by Mantovani et al. (2007).*

Na Tabela 6, que representa os valores obtidos com pressão de 100 kPa, observa-se que o CUC e o CUD foram inferiores aos preconizados como “excelente” pela classificação pro-

posta por MANTOVANI et al. (2007), valores justificados pela baixa pressão de operação do aspersor. Na Tabela 7, foram encontrados valores de 15,0% preconizados como “excelentes”

em ambos os coeficientes. Na Tabela 8, observa-se que foram excelentes 17,5% dos valores de CUC e 27,5% dos valores de CUD, e na Tabela 9 observam-se 12,5% para CUC e 17,5% para CUD.

MARTINS et al. (2012), estudando o perfil radial do aspersor NaanDanJain 427, simulando os mesmos espaçamentos utilizados neste trabalho, observaram aumento da média geral dos valores de CUC e CUD à medida que houve aumento na pressão de serviço do aspersor.

Em estudo realizado por FARIA et al. (2009), foram obtidos resultados similares aos do presente estudo, observando-se que espaçamentos reduzidos apresentaram melhores valores de CUC. Porém, de acordo com PEREIRA (2003), pequenos espaçamentos aumentam os custos do sistema com tubulações e mais aspersores, e requerem maior mão de obra para mudar as linhas de distribuição.

Observa-se redução do CUC e do CUD com o aumento do espaçamento dos aspersores. HOLANDA FILHO et al. (2001) encontraram resultados semelhantes em relação ao CUC com o microaspersor Rondo (50 L h^{-1}).

Em geral, a uniformidade de distribuição de água apresentou declínio com o aumento dos espaçamentos e com a diminuição da pressão. Os melhores valores de CUC e de CUD foram observados na pressão de 300 kPa e os valores mais baixos foram encontrados para a pressão de 100 kPa. As posições de $12,8^\circ$, $4,2^\circ$ e 0° apresentaram valores considerados como “excelentes” para o CUC e o CUD dentro do espaçamento de 6 x 6 m para as pressões de 200 e 300 kPa.

De acordo com os resultados dos coeficientes, é notável que, para a pressão de 400 kPa, o ideal é trabalhar com os espaçamentos de 6 x 6; 6 x 10 e 6 x 12 m, para a

posição do defletor em 30° e o espaçamento 6 x 6 m para a posição de $12,8^\circ$ e 0° , nas quais observaram-se resultados considerados “excelentes”.

CÉSAR (2001) comenta que as combinações entre espaçamentos que resultem em coeficientes de uniformidade (CUC) acima de 80% são recomendadas. O autor relaciona esses valores, para diferentes espaçamentos, com dados de intensidade de precipitação (mm h^{-1}), obtidos para um aspersor-canhão, concluindo que o fabricante deveria acrescentar esses dados ao seu catálogo. Embora não comente sobre o aspecto econômico, isso merece também ser considerado, devendo-se procurar obter o melhor retorno, levando-se em conta o custo da instalação e o rendimento da cultura.

Em todas as pressões estudadas, a posição do defletor de ajuste teve influência na lâmina de água aplicada e no alcance do jato de água (Figuras 4; 5; 6 e 7). Houve maior variabilidade de lâminas em coletores situados próximos à base do aspersor. Para a pressão de 100 kPa (Figura 4), houve decréscimo da lâmina no final do raio de molhamento, exceto para o ângulo de $4,2^\circ$. Para a pressão de 300 kPa (Figura 6), foram observadas lâminas de 1,5 a 2,0 mm para os ângulos de $4,2^\circ$ a 30° na faixa de 2 a 5 m. Para o ângulo de 0° nessa mesma faixa, observou-se variação da lâmina de 4 a 4,5 mm. Dentro do intervalo de pressão utilizado nos ensaios, pode-se observar relação direta entre o aumento do raio de alcance com a elevação de pressão. Para os menores ângulos do defletor, o aumento na pressão pode ter ocasionado maior pulverização do jato d'água, o que ocasionaria consequente diminuição no raio de alcance, como mencionam BERNARDO et al. (2006) e PEREIRA (2003).

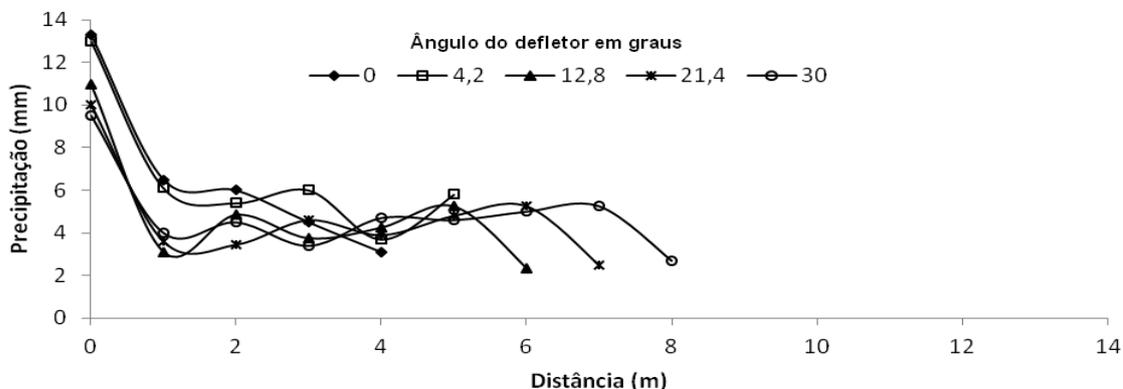


Figura 4 – Perfil de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 435 com bocal de 3,5 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão 100 kPa. *Water distribution profile from the NaanDanJain 435 with a 3.4 mm nozzle operating with the adjustment deflector positioned at different positions and a pressure of 100 kPa.*

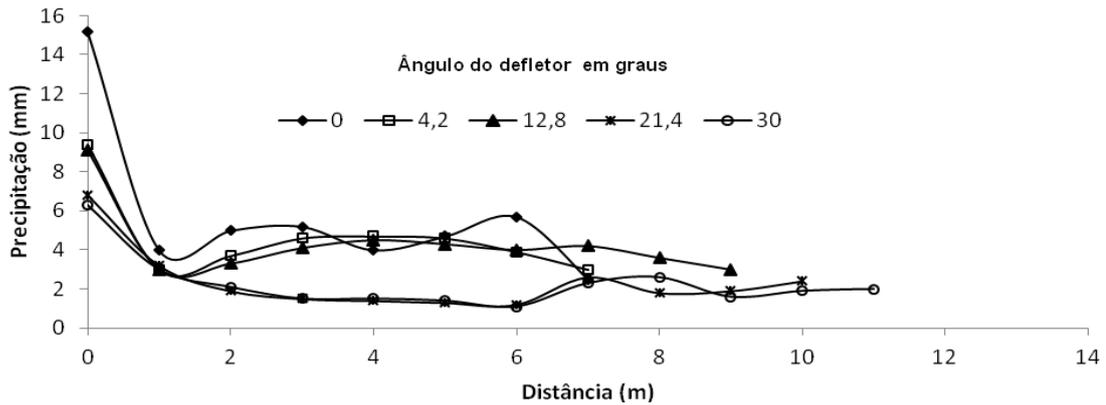


Figura 5 – Perfil de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 435 com bocal de 3,5 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão 200 kPa. *Water distribution profile from the NaanDanjain 435 with a 3.4 mm nozzle operating with the adjustment deflector positioned at different positions and a pressure of 200 kPa.*

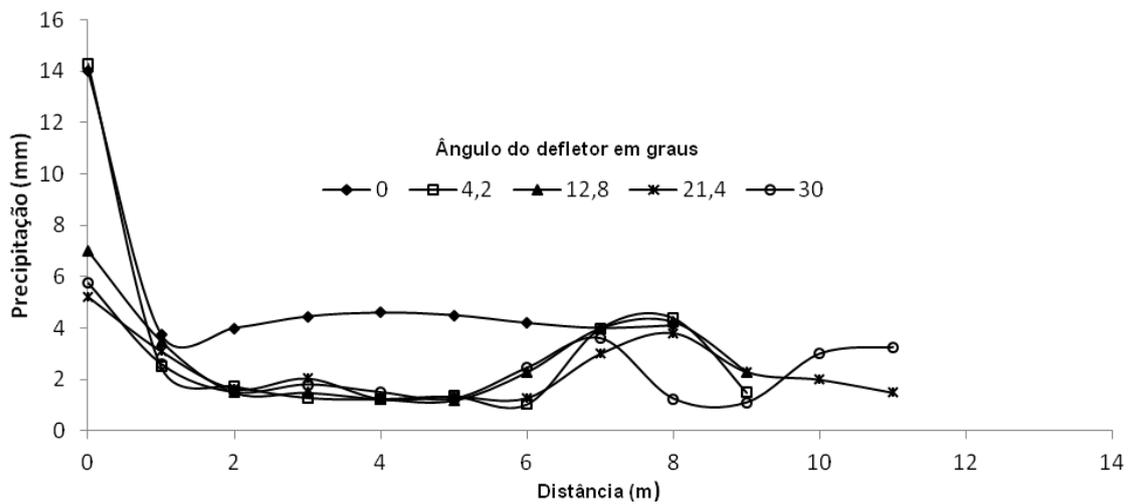


Figura 6 – Perfil de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 435 com bocal de 3,5 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão 300 kPa. *Water distribution profile from the NaanDanjain 435 with a 3.4 mm nozzle operating with the adjustment deflector positioned at different positions and a pressure of 300 kPa.*

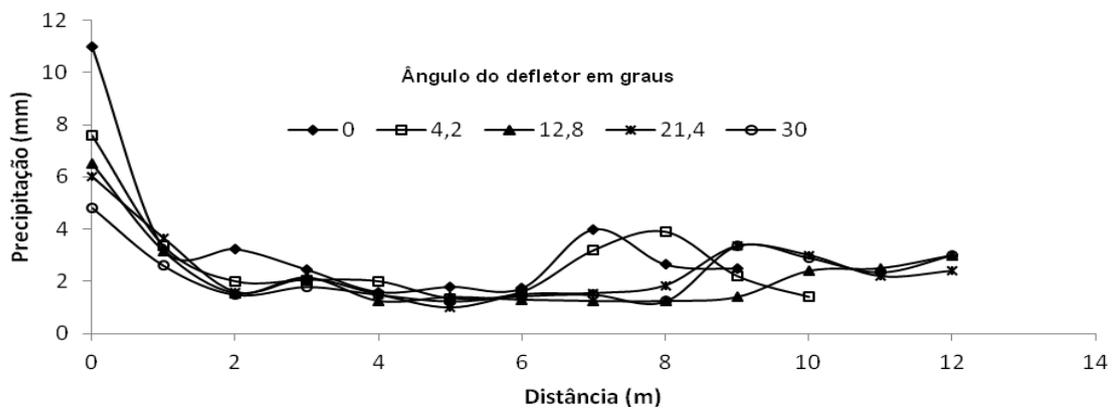


Figura 7 – Perfil de distribuição de água do aspersor NaanDanJain 435 com bocal de 3,5 mm operando com diferentes posições do defletor de ajuste e pressão 400 kPa. *Water distribution profile from the NaanDanjain 435 with a 3.4 mm nozzle operating with the adjustment deflector positioned at different positions and a pressure of 400 kPa.*

O raio de alcance foi obtido com base no coletor que apresentava lâmina precipitada maior ou igual a $0,25 \text{ mm h}^{-1}$ (ABNT, 1999a). Para as pressões de 100 kPa e 200 kPa, observa-se que o raio aumentou até a máxima inclinação do defletor de ajuste (30°) e para as pressões de 300 kPa e 400 kPa o raio aumentou até a inclinação de $21,4^\circ$, mostrando maior influência da posição do defletor no raio de alcance para as pressões de 100 kPa e 200 kPa. O ensaio com a pressão de 400 kPa apresentou o maior valor de alcance (12 m), porém, tal como obtido com as demais pressões estudadas, devido, possivelmente, aos ensaios não terem sido realizados sem a ocorrência de ventos, o valor para a pressão de 400 kPa também foi menor (14,3%) que o valor indicado pelo catálogo do fabricante (Tabela 1).

Para os ensaios em que o ângulo do defletor estava situado na posição de 0° , houve maior direcionamento do jato de água para baixo, o que ocasionou maior concentração do volume de água na base do aspersor. FISCHER & WALLENDER (1988) concluíram haver maior variabilidade das lâminas em coletores situados próximos ao aspersor e no final do raio de alcance, em estudo em que utilizaram amostragem radial e pressão de 100 kPa.

Quando analisados os raios de alcance fornecidos pelo fabricante, considera-se que o raio fornecido é para o defletor de ajuste totalmente aberto (30°). Portanto, os valores foram menores quando comparados com os do fabricante. Para as pressões de 100; 200; 300 e 400 kPa, foram obtidos os erros de 23,8; 12,0; 18,5 e 14,3%. Deve-se destacar que os erros entre os valores observados e os declarados pelo fabricante podem ser decorrentes da altura de instalação do aspersor, pois o fabricante não especifica a altura. Também, embora as velocidades do vento tenham sido menores que 2 m s^{-1} durante os ensaios, a existência de ventos pode ter contribuído para a redução dos raios de alcance.

Conclusões

O desempenho hidráulico do aspersor é bastante afetado pela pressão de serviço e pela posição do defletor, influenciando o raio de alcance, o perfil de distribuição e a uniformidade de distribuição de água.

Os valores de uniformidade de distribuição de água (CUC e CUD) reduziram-se com o aumento do espaçamento entre aspersores, a partir de $6 \times 6 \text{ m}$, e apresentaram melhores resultados nas pressões de 200; 300 e 400 kPa.

O defletor contido no aspersor permite regulação para situações distintas de distribuição de água, possibilitando ao projetista e ao

irrigante sua utilização em amplas situações, sendo útil que o fabricante coloque em seu catálogo o desempenho do aspersor em função da posição do defletor.

Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Equipamentos de irrigação agrícola: aspersores rotativos. Parte 1: Requisitos para projetos e operação.** Projeto 04:015.08-012. Rio de Janeiro, 1999a. 14p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Equipamentos de irrigação agrícola: aspersores rotativos. Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio.** Projeto 04:015.08-013. Rio de Janeiro, 1999b. 8p.

AQUINO, R. F. **Análise do desempenho e da uniformidade de aplicação de água do aspersor RainBird® LF1200.** 2006. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola. Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

BENAMI, A.; HORE, F.R. A new irrigation-sprinkler distribution coefficient. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.7, n.2, p.157-158, Mar./Apr. 1964.

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A.; HEDDEN-DUNKHOST, B.; ANDRADE, C. L. T. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas: Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p.3-11, 2008.

BRENNAN, D. Factors affecting the economic benefits of sprinkler uniformity and their implications for irrigation water use. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.26, n.2, p.109-119, 2008.

CARRIÓN, P.; TARJUELO, J. M.; MONTERO, J. SIRIAS: A simulation model for sprinkler irrigation: I. A description of model. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.20, n.2, p.73-84, 2001.

CATCH-3D. **Sprinkler application uniformity and efficiency calculation software, version 3,50b.** Developed at the Biological & Irrigation Engineering Department, Utah State University/ Research & Extension Center of the University of Idaho, 2004.

CÉSAR, J. H. F. **Avaliação técnica do aspersor canhão do tipo turbina.** 2001. 57f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1942. 124p. (Bulletin,670).
- CHRISTOFIDIS, D. O. Futuro da irrigação e a gestão das águas. **Item**, Brasília, n.80, p.40-47, 2008.
- CLEMMENS, A. J.; MOLDEN, D.J. Water uses and productivity of irrigation systems. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.25, n.3, p.247-261, 2007.
- COELHO, R. D.; FOLEGATTI, M. V. Influência do nível de tensão da mola na percentagem de água desviada e de energia absorvida em um aspersor de impacto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.170-174, 1998.
- COSTA, S. G. D. Irrigação, a dualidade no semi árido nordestino: desenvolvimento econômico x impactos sócio-ambientais. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA – PERSPECTIVAS PARA O CERRADO NO Século XXI, 2., 2003, Uberlândia. **Anais...Uberlândia: Instituto de Geografia**, 2003. 1 CD-ROM.
- FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E. de; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.19-27, 2009.
- FISCHER, G. R.; WALLENDER, W. W. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.31, n.92, p.538-542, Mar./Apr. 1988.
- FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R.C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP/ SBEA, 2003. v.2, 703p.
- HOLANDA FILHO, R. S. F. de H.; PORTO FILHO, F. de Q.; MIRANDA, N. de O.; MEDEIROS, J. F. de. Caracterização hidráulica do microaspersor Rondo, da Plastro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.16-21, 2001.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- KINCAID, D. C. Impact sprinkler pattern modifier. **Transactions of the American of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.34, n.6, p.2397-2402, 1991.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. atual.e. ampl. Viçosa, MG:UFV, 2007. 358p.
- MARTINS, P. E. S.; ZANINI, J. R.; SILVA, E. R.; MARCO A. F. LEMOS FILHO, M. A. F. Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor NaanDanJain 427, em função da regulagem do defletor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1,p.3-9, 2012.
- NAANDANJAIN. **Aspersor 435 1/2"**: especificações técnicas. Disponível em: <<http://www.naandanjain.com.br/produto.aspx?id=97>>. Acesso em: 11 jul. 2011.
- PEREIRA, G. M. Aspersão Convencional. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. v.2, 703p.
- PINO, M.A.T.I.D. **Análise do desempenho de três modelos de aspersores escamoteáveis utilizados em irrigação de projetos paisagísticos**. 1998. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- PRADO, G.; COLOMBO, A. Caracterização técnica do aspersor PLONA-RL300. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.1, p.53-63, 2005.
- PRADO, G; COLOMBO, A. Interpolação de perfis radiais de distribuição de água de aspersores. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n, 1, p. 41-53, 2009.
- PRADO, G.; COLOMBO, A.; BIAGIONI, P.F. Ângulo de giro e espaçamentos entre carreadores em sistemas autopropelidos de irrigação com o PLONA-RL400. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.346-353, 2007.
- SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transictions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.