



Coeficientes de uniformidade em aspersores de baixa vazão com diferentes arranjos e altura da haste

Uniformity coefficients in low-flow sprayers with different arrangements and height

Leôncio Gonçalves Rodrigues¹; Aparecida Rodrigues Nery²; Francisco Rondynelle Rodrigues Sousa³, Luis Nery Rodrigues⁴

¹Pós-graduado em Agricultura Irrigada e Meio ambiente, Faculdade de Tecnologia do Cariri, Juazeiro do Norte, Ceará. (83) 98195-0446, leonmeid@gmail.com; ²Doutora em Engenharia agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, cydanery@gmail.com; ³Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal do Cariri, rondynelle_17@hotmail.com; ⁴Doutor em Engenharia agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, luis.lunero@gmail.com.

ARTIGO

Recebido: 13/11/2018
Aprovado: 23/03/2019

Palavras-chave:

Eficiência
Aspersão
Manejo da água

Key words:

Efficiency
Sprinkler
Water management

RESUMO

Em irrigação por aspersão, a água é precipitada de forma artificial. Nesse sistema, a eficiência de distribuição está sujeita às características do aspersor, pressão, vazão de operação, fatores externos como vento e temperatura, tipo de arranjo e a altura da haste. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o Coeficiente de Uniformidade Christiansen - CUC, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição - CUD e Coeficiente de Uniformidade Estatístico - CUE em aspersores de baixa vazão sob os arranjos quadrangular, triangular e retangular, para altura de haste de 1,50 e 2,00 m sob baixa pressão de 10 mca. O aspersor NDJ 5022 apresentou coeficientes acima de 80% para todos os arranjos e sobreposições, sendo arranjo triangular o que apresenta melhor custo benefício de instalação.

ABSTRACT

In sprinkler irrigation, the water is precipitated artificially. In this system, the distribution efficiency is subject to the characteristics of the sprinkler, pressure, operating flow, external factors such as wind and temperature, type of arrangement and stem height. In view of the above, this study aimed to evaluate the Coefficient of Uniformity Christiansen - CUC, Coefficient of Uniformity of Distribution - CUD and Coefficient of Statistical Uniformity - CUE in low flow sprinklers under the quadrangular, triangular and rectangular arrangements, for height of rod of 1,50 and 2,00 m under low pressure of 10 mca. The NDJ 5022 sprinkler presented coefficients up to 80% for all arrangements and overlays, with a triangular arrangement that presents the best installation cost.

INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica de aplicação de água no solo que visa o suprimento hídrico das culturas de forma artificial. A irrigação moderna representa 21% de toda área agrícola do planeta, sendo as lavouras irrigadas responsáveis por mais e 40% de toda a produção e com mais de 70% de seu valor (FAO, 2016). A irrigação por aspersão apresenta uma série de vantagens quando comparado com métodos por inundação, faixas e sulcos que apresentam uma maior perda de água no solo por percolação e escoamento superficial em função da forma com que água é aplicada (HAGUENAUER, 2016). Por outro lado em aspersão à água é precipitada através de pequenas gotículas sob o solo, o que confere: boa eficiência, custo benefício, adaptabilidade e versatilidade (BERNARDO et al., 2006). Este método de aplicação de água é muito utilizado principalmente em culturas anuais como, milho, feijão, cenoura, batata, sendo geralmente classificado em dois

grandes grupos, convencional e mecanizado (HAGUENAUER, 2016).

Para Melo e Silva (2009), o sistema de aspersão convencional é considerado o sistema básico de aspersão ao qual se deriva todos os outros, é constituído por componentes tradicionais de aspersão como tubulações, aspersores, moto bombas e acessórios. Segundo Bertossi et al., (2013) a produtividade agrícola em áreas irrigadas está ligada a vários fatores como, dimensionamento e manejo. Santos et al. (2017), em estudos direcionados a produtividade da cana de açúcar, verificaram um incremento na produção de 23% além de melhora na qualidade da cultura. Assim também, Berger e Aquino (2011), verificaram um acréscimo na produção do algodão de 78% a 85% independente do sistema de irrigação utilizado se comparado ao cultivo de sequeiro. Coelho et al., (2006) concluiu que para as condições edafoclimáticas do semiárido a irrigação é uma técnica indispensável para o cultivo de citros, ressaltando a importância do manejo da irrigação que deve ser adaptado as condições locais. Para



Rodrigues et al., (2015), fatores como arranjo utilizado, altura do aspersor e pressão de serviço afetam a distribuição de água eficiência de irrigação.

O bom desempenho de um sistema de irrigação está relacionado a um fator principal, a eficiência de aplicação. Segundo Bernardo et al. (2006) para se obter bons níveis de eficiência, o projeto hidráulico do sistema de irrigação deve ser bem dimensionado. Entretanto um sistema bem projetado não é o suficiente para garantir uma boa aplicação de água, técnicas de manejo da irrigação devem ser empregadas. Merriam e Keller (1978), em estudos sobre coeficientes de uniformidade destacam a importância do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), utilizando como parâmetro para classificação de aplicação de água pelo sistema. Outros coeficientes como o proposto por Christiansen (1942) conhecido como coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente apresentado por Wilcox-Swales (1947) conhecido como coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) e a eficiência potencial de aplicação apresenta por Bernardo et al., (2006) são adotados como parâmetros para classificar a eficiência de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão.

Santos et al., (2012), associa a uniformidade a variabilidade da lâmina de água aplicada, sendo necessária a determinação de coeficientes para aferição do sistema irrigado. Para Bernardo et al. (2006), a eficiência de um sistema e a relação da quantidade de água armazenada na zona do sistema radicular pela retirada da fonte, sendo um parâmetro essencial para avaliar o desempenho de um sistema. A uniformidade do sistema de irrigação pode ser determinada por coeficientes como o CUC, CUD e CUE (RODRIGUES et al., 2015). Ao realizar o dimensionamento de um sistema devem-se estabelecer as suas características que irão partir da escolha do tipo de aspersor, arranjo a ser utilizado, altura da haste, vazão, pressão de operação e para qual cultura destina (BERNARDO et al., 2016). O espaçamento entre aspersores e ramais assim como o tipo de arranjo afetam a uniformidade e a eficiência de aplicação de água (AZEVEDO, 2002). A uniformidade de aplicação de água pode ser afetada por fatores ambientais como: ventos fortes, umidade do ar baixa e temperaturas elevadas (FRIGO et al., 2013). O tipo de aspersor utilizado altera as características de um projeto, assim atenção especial deve ser dada na escolha do aspersor.

As propriedades de agricultores familiares têm área pequena por isso o sistema de aspersão convencional e muito utilizado principalmente os fixos e semiportáteis (MEDONÇA et al., 2002). De acordo com Azevedo (2002), em pequenas propriedades agrícolas é comum à utilização de aspersores rotativos de impacto de um ou dois bocais em sistema por aspersão convencional. Bernardo et al., (2006)

classifica os aspersores de baixa pressão disponíveis no comércio operando em faixa de 10,00 a 20,00 mca e vazões inferiores a 1,00 m³.h⁻¹. De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO) a irrigação por aspersão foi amplamente introduzida nos esquemas comunitários e individuais, em áreas de irrigação de pequeno e grande porte, sendo uma técnica muito utilizada por agricultores de pequena escala (MARTINS et al., 2014).

Pelo presente exposto o objetivo desta pesquisa foi realizar avaliação individual de quatro aspersores Fabrimar Pingo, Meganet Netafim, Vigua e NDJ5022 operando sobre baixa pressão de 10,00 mca, com espaçamento de 12,00 m entre aspersores, em diferentes arranjos triangular, quadrangular e retangular para alturas de haste de 1,50 m e 2,00 m e deste modo determinar os coeficientes de uniformidade CUC, CUD, CUE e (Ea), . Para assim avaliar a influência do arranjo e da altura haste nos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação, definindo qual aspersor e arranjo apresenta melhor desempenho. Para tanto foram realizadas duas avaliações para cada aspersor, sendo uma para cada altura de haste, ao todo foram realizadas oito avaliações dos quatro aspersores, o resultado de cada avaliação resultou em três sobreposições nos respectivos arranjos estudados.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Campus - Crato, no mês de março de 2018, em uma área experimental cultivada com a cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, cujas coordenadas geográficas são 7° 12'34" S e 39° 26' 39" W, com declividade de 4%. As avaliações foram realizadas de forma individuais para cada aspersor, sendo dispostos coletores ao seu entorno, para distribuição dos coletores considerou o raio de alcance dos aspersores de 10,00 m, os coletores foram espaçados 2,00 m x 2,00 m, deste modo cada coletor representa uma área de 4,00 m², assim foi formada uma malha com 100 coletores. Os coletores, de diâmetro e área 7,50 cm e 44,18 cm² respectivamente, foram instalados a uma altura de 0,70 m, os aspersores foram instalados sobre a haste do aspersor de PVC com diâmetro de 0,032 m.

Foram avaliados os aspersores de baixa vazão Meganet™, Fabrimar Pingo, Vigua e Naandannjain 5022, que apresentam vazões inferiores a 1,00 m³.h⁻¹ e operam sobre pressões de 10,00 a 20,00 mca. As avaliações foram aplicadas para haste do aspersor com altura de 1,50 m e 2,00 m, sendo conduzidas durante o dia 11 a 16 de março 2018, sendo realizadas duas avaliações por dia entre 9h:00min e 10h:00min e entre às 10h:30min e às 11h:30min. A Tabela 1 apresenta as características técnicas dos aspersores avaliados.

Tabela 1. Características operacionais dos aspersores avaliados.

Aspersor:	Naandannjain 5022	Pingo Fabrimar	Meganet™ Netafim 24D	Vigua
Vazão (L.h ⁻¹)	700	700	750	700
Pressão de operação (mca)	20,00	20,00	20,00	20,00
Número de bocais	2,00	2,00	1,00	2,00
Diâmetro dos bocais (mm)	2,30 x 2,00	2,60 x 2,40	3,68	3,20 x 2,50
Raio molhado (m)	10,00	10,00	10,00	10,00
Diâmetro molhado (m)	20,00	20,00	20,00	20,00
Espaçamento convencional (m)	12 x 12	12 x 12	12 x 12	12 x 12
Intensidade de aplicação (mm.h ⁻¹)	4,90	4,90	5,20	4,90

Fonte: Catálogo do Fabricante

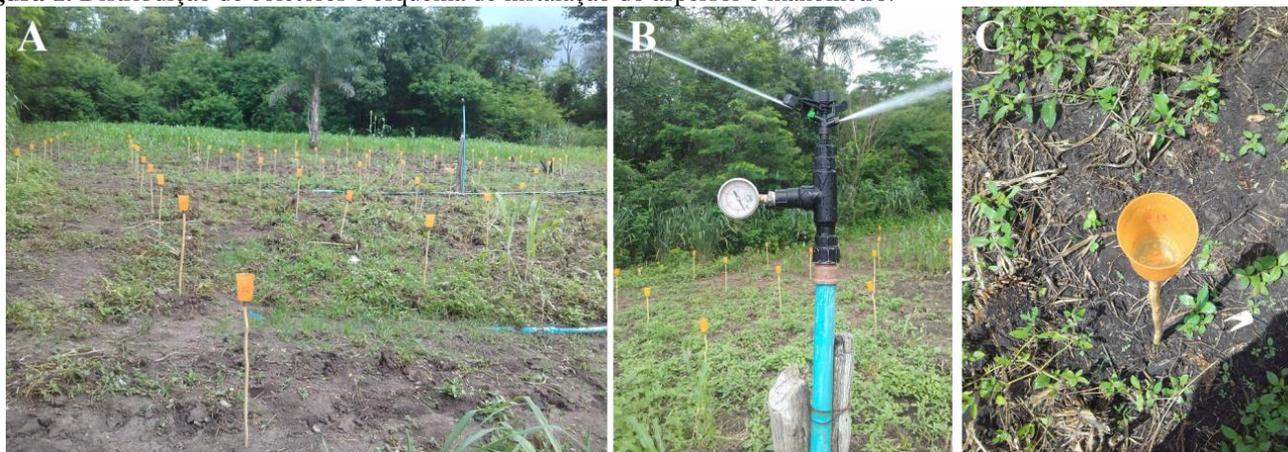
Não foi realizada aferição da velocidade do vento, entretanto a área escolhida para avaliação estava protegida em seu entorno com densa vegetação a fim de diminuir os seus efeitos, apesar de não medir a velocidade do vento, perfis de distribuição de uniformidade tridimensionais foram elaborados no Software Surfer® que permitem caracterizar e abstrair informações sobre sua influência nas lâminas aspergidas.

A avaliação individual para cada aspersor foi realizada na faixa de pressão de 10,00 mca ao qual se utilizou um manômetro para monitorar esta pressão, cada avaliação teve tempo de duração de 60 minutos. No total foram oito

avaliações, quatro para altura de 1,50 m e quatro para altura de 2,00 m.

A Figura 1A apresenta o esquema de distribuição dos coletores em campo enquanto que a Figura 1B apresenta a instalação do manômetro com glicerina na base do aspersor, utilizado para monitorar a pressão, A Figura 1C apresenta o coletor de referência instalado a 5,00 m da área onde foi disposta os coletores, foi adicionada uma lâmina de 50,00 ml no início da avaliação e aferida no término, os coletores sofreram correção de 1,00 ml para compensar a perda de água por evaporação ocorrida durante a avaliação.

Figura 1. Distribuição de coletores e esquema de instalação do aspersor e manômetro.



Fonte: Autor (2018).

As medições das lâminas precipitadas nos coletores foram medidas com o auxílio de uma proveta graduada em mililitro e posteriormente convertidas para mm, através da Equação 1

$$La = \frac{Vol}{A} \times 10 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que: *La*: Lâmina coletada no coletor (mm); *Vol*: Volume coletado no coletor em (cm³); *A*: Área do coletor em (cm²); 10,00 é um fator de conversão de cm para milímetros.

Com as lâminas precipitadas das avaliações individuais, foram realizadas as sobreposições das lâminas para os diferentes arranjos quadrangular, triangular e retangular para os respectivos espaçamentos de 12,00 m x 12,00 m; 12,00 m x 10,40 m e 12,00 m x 8,00 m, sendo considerado o raio de alcance de 10,00 m. Para o arranjo triangular para manter a equidistância dos aspersores de 12,00 m, o espaçamento entre linhas foi definido pela Equação 2.

$$H^2 = a^2 + b^2 \quad \text{Eq. 2}$$

Em que: *H*: Hipotenusa em (m); *a*: cateto oposto (m); *b*: cateto adjacente (m).

A determinação da intensidade de aplicação do aspersor foi realizada através da Equação 3.

$$I = \frac{Q \times 3600}{E1 \times E2} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que: *I*: Intensidade de aplicação (mm.h⁻¹); *Q*: é a vazão do aspersor (L.s⁻¹); *E1*: Espaçamento do aspersor (m); *E2*: Espaçamento entre linhas e ramais (m).

A vazão dos emissores foi determinada através da equação de descarga para um orifício, citada por Bernardo et al., (2006). A Equação 4 expressa a equação para determinar a vazão de um emissor.

$$Qa = (Cs \times Ax \sqrt{2 \times G \times PS}) \times 3,6 \quad \text{Eq. 4}$$

$$A = \frac{(\pi \times D^2)}{4} \quad \text{Eq. 4.1}$$

Em que: *Qa*: Vazão do emissor (L.h⁻¹); *Cs*: Coeficiente de descarga para os emissores 0,96; *a*: Área do emissor (m²); *G*: Aceleração da gravidade (9,81 m.s⁻²); *Ps*: Pressão de serviço do emissor (mca); π : é o valor 3,14; *D*: diâmetro do orifício (mm).

O CUC, CUD e CUE foram obtidos pelas equações 5, 6 e 7 respectivamente, sendo que para o cálculo do desvio padrão foi obtido pela equação 7.1.

$$CUC = \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Li - Lm|}{N \times Lm} \right\} \quad \text{Eq. 5}$$

$$CUD = \left\{ \frac{Lq}{Lm} \times 100 \right\} \quad \text{Eq. 6}$$

$$CUE = \left\{ 1 - \frac{Sd}{Lm} \right\} \quad \text{Eq. 7}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (Li - Lm)^2}{N - 1}} \quad \text{Eq. 7.1}$$

Em que: *Li*: Lâmina coletada no coletor no ponto *i* (mm), para *i*=1,...,n; *Lm*: Lâmina média (mm); *N*: Número de coletores; (%); *Lq*: Lâmina média de 25% do total de coletores com menores lâminas (mm); *CUE*: Coeficiente de uniformidade estatístico (%); *Sd*: desvio padrão (mm).

A interpretação dos coeficientes avaliados foi realizada através dos limites propostos por Mantovani (2001), que utiliza destes parâmetros para avaliar a uniformidade de distribuição em arranjo triangulares e quadrulares. Os valores para interpretação dos coeficientes estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de classificação das uniformidades de aplicação de água

Classificação	CUC	CUD	CUE
		%	
Excelente	>90	>84	90-100
Bom	80-90	68-84	80-90
Razoável	70-80	52-68	70-80
Ruim	60-70	36-52	60-70
Inaceitável	<60	<36	<60

Fonte: Mantovani (2001). CUC: Coeficiente de uniformidade Christiansen; CUD: Coeficiente de uniformidade de distribuição; CUE: Coeficiente de uniformidade estatístico.

A eficiência de aplicação potencial foi determinada pela Equação 8 e expressa a razão entre a lâmina dos 25% menores coletores pela lâmina média aplicada.

$$EAp = \frac{Ln}{Lm} \times 100 \quad \text{Eq. 8}$$

Em que: *EAp*: Eficiência de aplicação em potencial (%); *Ln*: Lâmina média coletada dos 25% menores valores *Lm*: Lâmina média aplicada “Vazão do aspersor x tempo” (mm).

A perda de água por arrastamento e pulverização pelo vento pode ser determinada pela Equação 9.

$$Pv = 100 - EAp \quad \text{Eq. 9}$$

A eficiência de aplicação para o menor quartil e maior quartil *EAq* e *EAm* (%), pode ser determinada indiretamente através do CUD e CUC respectivamente utilizando das equações 10 e 11.

$$EAq = CUD \times \frac{EAp}{100} \quad \text{Eq. 10}$$

$$EAm = CUC \times \frac{EAp}{100} \quad \text{Eq. 11}$$

De acordo com Bernardo et al., (2006), a *EAq* e a *EAm* em sistemas de aspersão convencional fixo, variam de 60% a

85% e 70% a 88% respectivamente. Os resultados para o CUC e CUD assim como a *EAp* e *Pv* para os arranjos quadrangular, triangular e retangular para os aspersores foram submetidos análise de variância ANAVA e teste de Scott-Knott (1974) em esquema fatorial 4 x 3 x 2, com objetivo de verificar se há diferença significativa entre diferentes arranjos avaliados, assim como a interação arranjo com aspersor, para tanto foi utilizado o software Sisvar®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

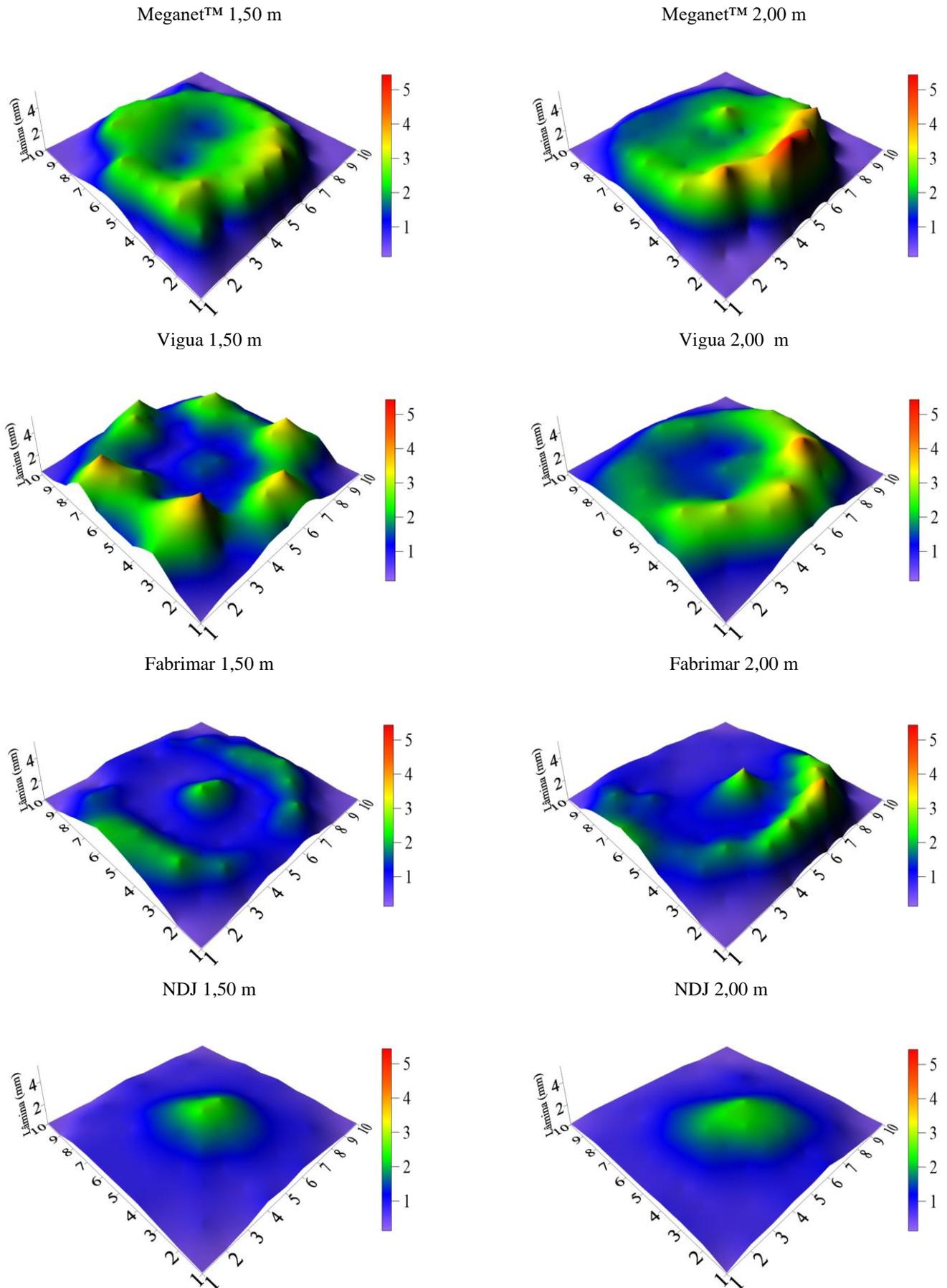
Na Figura 2 observa-se o perfil de distribuição dos diferentes aspersores para as alturas de 1,50 m e 2,00 m, verifica-se que mesmo não realizando a medição da velocidade do vento e possível constatar a sua ação e abstrair seus efeitos, os aspersores instalados a 2,00 m da superfície apresentaram maior deformidade da lâmina d’água aplicada, concentrando sua lâmina na região periférica de predominância do vento.

Campelo et al. (2014), afirma que os pontos sub irrigados ficam localizados nas zonas periféricas, deste modo a sobreposição adequada contribui para reduzir o fenômeno da ação do vento. Os Aspersores Meganet™, Vigua e Fabrimar Pingo na haste de 2,00 m apresentaram maior influência pela ação do vento se comparados aos demais. Tal fato decorre da maior fragmentação dos jatos d’água, formando gotículas de água menores e facilmente arrastadas pelo vento, como se pode observar na Figura 2 o aspersor Meganet™, Vigua e Fabrimar Pingo para as hastes de 2,00 m.

O vento influencia a distribuição de água sobre área afetando sua distribuição, (BERNARDO et al., 2006). Assim tanto a intensidade quanto a direção do vento mudam o destino das partículas. Na Figura 2 e possível verificar que os aspersores avaliados na haste de 2,00 m tiveram maior concentração da lâmina na periferia do raio, no sentido em que houve atuação da corrente de ar. Deste modo a sobreposição das lâminas pode ser afetada, pois estas são arrastadas para outro ponto. Os aspersores avaliados apesar de apresentarem vazões próximas como se pode observar na Tabela 3, possuíam bocais com diferentes diâmetros e formas, provocando diferentes pulverizações das gotas de água em cada aspersor, os aspersores que apresentaram lâmina mais facilmente arrastada pela ação pelo vento foram justamente os com maior pulverização das gotas de água, tal fenômeno foi observado principalmente para haste de 2,00 m.

Na Figura 2, constata-se que o aspersor NDJ5022 apresentou um perfil de distribuição mais estável com uma redução gradual das lâminas do centro onde há inserção do aspersor até a periferia. De acordo com Christiansen (1942) é impossível aplicação absolutamente uniforme de água por aspersão, pelo fato dos aspersores cobrirem áreas circulares. Na Figura 2 observa-se que o aspersor Vigua para haste de 1,50 m e 2,00 m apresenta maior acúmulo de água na periferia, havendo a concentração da lâmina aplicada na extremidade do raio de alcance. Entretanto todos os demais aspersores avaliados sob altura de 1,50 m promoveram melhor distribuição quando comparado aos de 2,00 m, aqueles com menores bocais e vazão como o NDJ5022 e o Fabrimar Pingo apresentaram melhores desempenhos.

Figura 2. Avaliação individual de aspersores Meganet™, Fabrimar Pingo, Viqua e NDJ5022 para alturas de haste de 1,50 e 2,00 m.



A vazão do aspersor depende da pressão de serviço e do diâmetro do bocal, pressão muito alta causa excessiva pulverização do jato diminuindo seu raio de alcance e provoca precipitação excessiva próxima ao aspersor, enquanto que pressão muito baixa resultará em uma inadequada pulverização do jato provocando má distribuição (BERNARDO et al., 2006).

Através da Equação 4, citada por Bernardo et al., (2006), determinou-se a vazão para diferentes pressões. A vazão de um aspersor é condicionada pela pressão exercida no orifício de saída de água, enquanto que a intensidade de aplicação é obtida pela razão da vazão pelo espaçamento, sendo deste modo, afetada pela pressão, já que quanto menor a pressão menor será o raio de alcance do aspersor e a pulverização das gotas de água será menor, concentrando a lâmina de água na periferia do diâmetro molhado.

A maior intensidade de aplicação dos aspersores avaliados foi de 4,64 mm.h⁻¹ no aspersor Viqua em haste de 1,50 m, em arranjo quadrangular. Por outro lado, a menor intensidade de aplicação foi obtida no aspersor NDJ5022 em haste de 1,50 m e 2,28 mm.h⁻¹ sob mesmo arranjo, apresentando os demais aspersores sob a mesma pressão valores intermediários a estes.

O aspersor que apresentou valor de intensidade de aplicação (I) mais próximo do definido pelo fabricante em

Tabela 3. Lâmina média (Lm) a lâmina média dos 25% menores valores (Ln) e a vazão do aspersor (Q) para os arranjos quadrangular, triangular e retangular.

Aspersor	E1 x E2	Ha	Lm	Ln	Q
	m x m	m	mm		L.h ⁻¹
Meganet™ A. Quadrangular	12x12	2	4,08	2,25	514
Meganet™ A. Triangular	12x10,4	2	4,83	2,26	514
Meganet™ A. Retangular	12x8	2	5,86	3,89	514
Meganet™ A. Quadrangular	12x12	1,5	3,69	1,78	514
Meganet™ A. Triangular	12x10,4	1,5	3,54	2,31	514
Meganet™ A. Retangular	12x8	1,5	3,92	4,11	514
F. Pingo A. Quadrangular	12x12	2	3,04	1,61	475
F. Pingo A. Triangular	12x10,4	2	3,54	2,21	475
F. Pingo A. Retangular	12x8	2	4,22	2,34	475
F. Pingo A. Quadrangular	12x12	1,5	2,9	1,63	475
F. Pingo A. Triangular	12x10,4	1,5	3,33	2,22	475
F. Pingo A. Retangular	12x8	1,5	3,92	2,07	475
Viqua A. Quadrangular	12x12	2	4,4	2,3	626
Viqua A. Triangular	12x10,4	2	5,07	2,97	626
Viqua A. Retangular	12x8	2	5,99	3,8	626
Viqua A. Quadrangular	12x12	1,5	4,64	2,01	626
Viqua A. Triangular	12x10,4	1,5	5,24	2,83	626
Viqua A. Retangular	12x8	1,5	6,04	2,98	626
NDJ 5022 A. Quadrangular	12x12	2	2,41	1,85	353
NDJ 5022 A. Triangular	12x10,4	2	2,74	2,28	353
NDJ 5022 A. Retangular	12x8	2	3,21	2,83	353
NDJ 5022 A. Quadrangular	12x12	1,5	2,28	1,82	353
NDJ 5022 A. Triangular	12x10,4	1,5	2,61	2,21	353
NDJ 5022 A. Retangular	12x8	1,5	3,06	2,66	353
\bar{y}	-	-	3,94	2,47	492,00

Ha: Altura da haste; Lm: Lâmina média coletada; Ln: Lâmina média das 25% menores lâminas; E1 x E2: Espaçamento entre aspersores e ramais respectivamente; Q: Vazão do aspersor.

Os aspectos como pressão, arranjo e vazão afetam a uniformidade de distribuição de água (NASCIMENTO et al., 2017). Como nesta pesquisa a pressão de operação foi de 10,00 mca, os coeficientes dos aspersores ficam submetidos apenas à variação de vazão, arranjo e altura da haste.

condições normais de operação foi o Meganet™ na altura de 2,00 m, em arranjo quadrangular com 4,08 mm.h⁻¹ em comparação aos 5,20 mm.h⁻¹ do aspersor em operação sobre pressão de 20,00 mca. o aspersor Meganet™ atua com defletor que possui aberturas de 3,35 mm e um bocal de 3,68 mm, provocando uma maior fragmentação do jato.

A deformidade causada pelo vento nas lâminas, ocorre devido ao arrastamento das gotas de água pulverizadas pelo aspersor mediante os bocais de saída, quanto maior a velocidade do vento menor será a uniformidade de aplicação de água e eficiência potencial. Independente do arranjo utilizado, para obter-se uma maior uniformidade aplicação sobre uma área os aspersores devem ser espaçados de modo que se obtenha sobreposição entre os perfis (BERNARDO et al., 2006). Para Bernardo et al., (2006), a ação do vento pode ser minimizada pelo estreitamento do espaçamento entre os aspersores ou pelo arranjo utilizado.

Os resultados da distribuição individual de cada aspersor foram utilizados para confecção das sobreposições para os diferentes arranjos quadrangular, triangular e retangular para as duas alturas de haste 2,00 e 1,50 m. A Tabela 3 apresenta a lâmina média (Lm) a lâmina média dos 25% menores valores (Ln) e a vazão do aspersor (Q) para os diferentes arranjos.

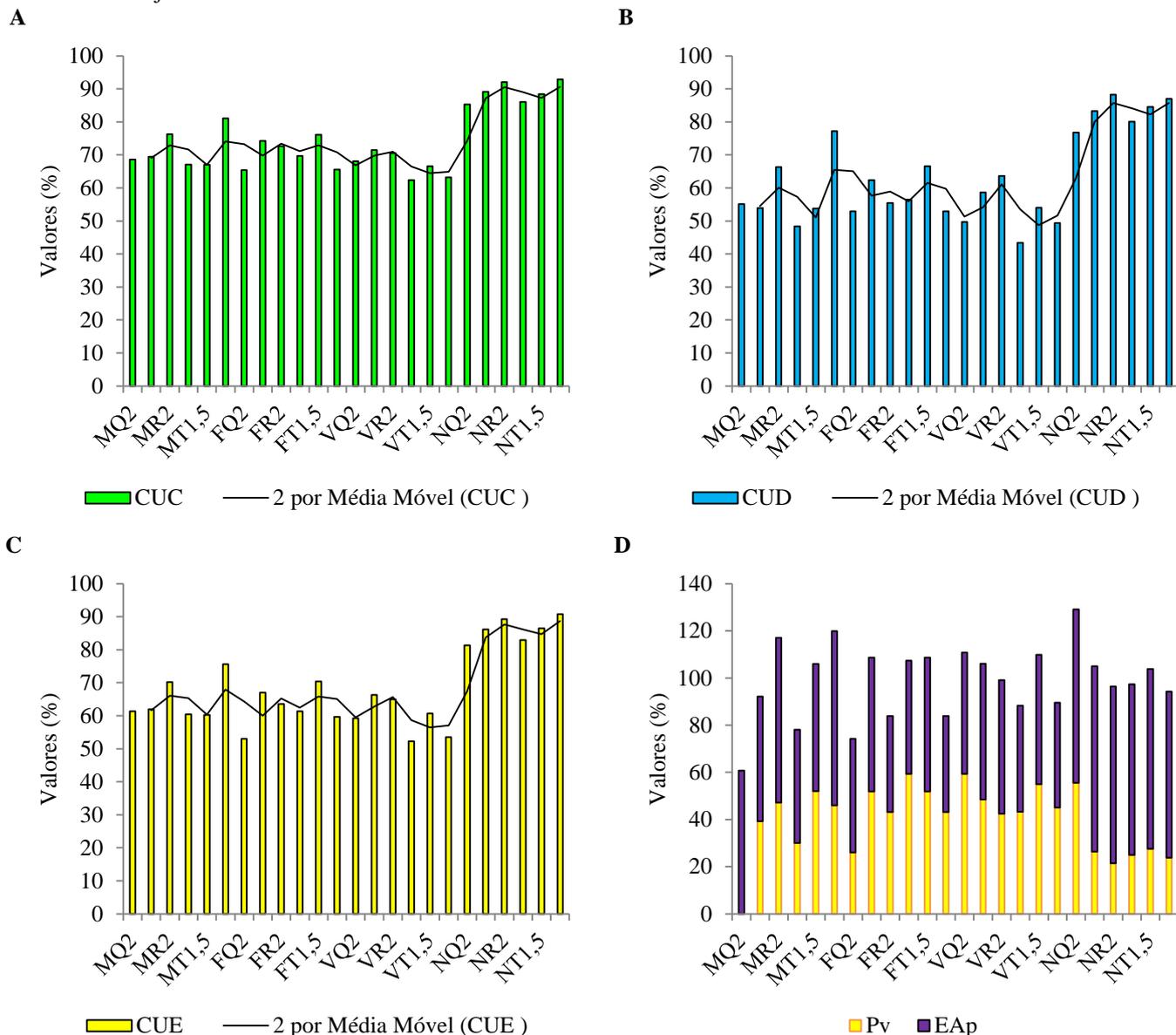
Bertossi et al., (2013), em estudos sob avaliação de sistema conclui que um baixo valor de CUD, pode indicar uma excessiva perda por percolação, principalmente se toda área receber uma lâmina maior ou igual a real necessária. Deste modo, os aspersores que apresentaram CUD inferiores

aos limites expostos por Manton, (2011), estão submetidos à condição de Bertossi et al., (2013).

De acordo com os resultados, o aspersor que obteve melhores coeficientes foi o NDJ5022 em arranjo retangular com haste de 1,50 m com CUC, CUD e CUE de 92,85%; 86,98% e 90,8% respectivamente. Em contra partida, o que apresentou menores coeficientes foi o Viqua em arranjo quadrangular para haste de 1,50 m com 62,38%; 43,39% e 52,22% respectivamente. Os arranjos quadrangulares apresentaram menores coeficientes, o triangular

intermediário, enquanto que o retangular apresentou os melhores resultados. Entretanto, o arranjo triangular proporciona melhor custo benefício se comparado com os demais arranjos, devido aos coeficientes obtidos e a quantidade de ramais serem menor, pelo fato do espaçamento entre eles ser de 10,40 m, reduzindo o número de aspersores, tubulações e conexões quando comparado ao retangular e melhor coeficiente quanto comparado ao quadrangular. A Figura 3, apresenta a representação gráfica do CUC, CUD, CUE, EAp e Pv respectivamente.

Figura 3. Apresenta os Coeficientes de uniformidade Christiansen (CUC), Coeficiente de distribuição (CUD), Coeficiente de uniformidade estatístico (CUE), Eficiência de aplicação potencial (EAp) e Pulverização pelo vento (Pv) em %, para os diferentes arranjos e altura de haste.



MQ: Aspersor Meganet arranjo quadrangular haste; MR: Aspersor Meganet arranjo retangular; MT: Aspersor Meganet arranjo trinangular; FQ: Aspersor Fabrimar Pingo arranjo quadrangular; FR: Aspersor Fabrimar Pingo arranjo Retangular; FT: Aspersor Fabrimar Pingo arranjo triangular; VQ: Aspersor Vigua arranjo quadrangular; VR: Aspersor Vigua arranjo Retangular; NQ: Aspersor Vigua arranjo triangular; NQ: Aspersor NDJ5022 arranjo quadrangular; NR: Aspersor NDJ5022 arranjo retangular; NT: Aspersor NDJ5022 arranjo triangular.

Analisando a Figura 3a, observa-se que com exceção do aspersor NDJ5022 os demais aspersores apresentaram CUC entre 60% e 80%, e um CUD entre 50% e 60% como se observa na Figura 3b e CUE entre 50% e 70% como se constata na Figura 3c. Na Figura 3d e apresentando a

eficiência de aplicação potencial e a pulverização pelo vento, sendo duas variáveis correlacionadas, quando uma aumenta a outra diminui e vice-versa.

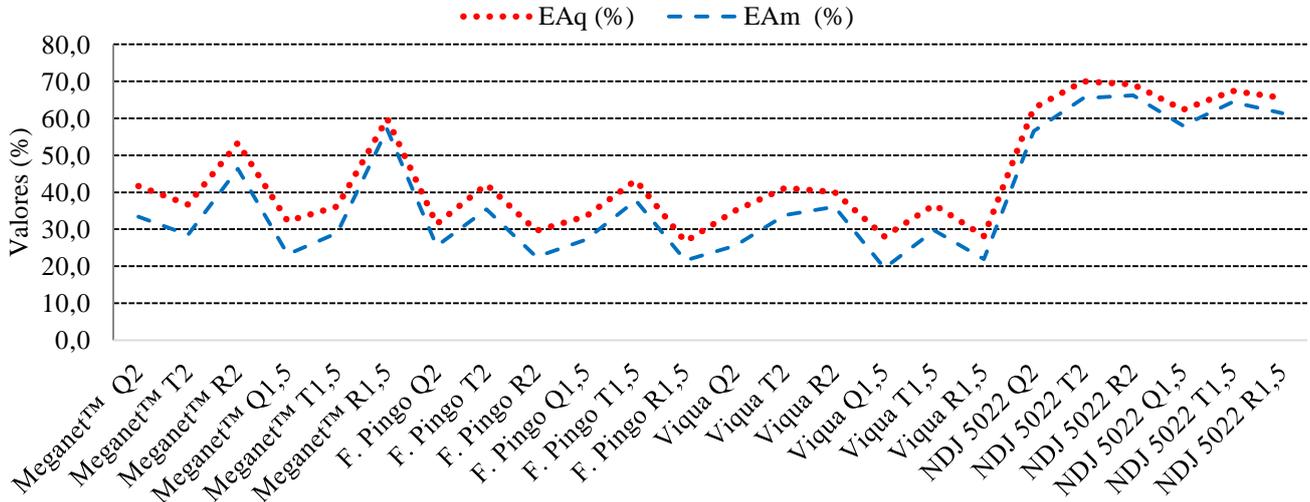
O aspersor NDJ5022 apresentou todos os coeficientes superiores a 75%. Entretanto, este mesmo aspersor apresenta

a menor lâmina com uma intensidade média de aplicação de 2,71 mm.h⁻¹. Deste modo o NDJ5022 leva aproximadamente o dobro do tempo para aplicação de uma determinada lâmina, porém se comparado com outros aspersores avaliados, considerando aspectos como arranjo e intensidade de aplicação este proporciona melhor custo benefício.

O aspersor Pingo Fabrimar em arranjo triangular com haste de 1,50 m, apresentou CUC, CUD e CUE de 76,11%;

66,60% e 70,35% respectivamente, sendo estes valores razoáveis segundo os limites de classificação proposto por Mantovani (2001). Com os resultados do CUD e CUC foram determinadas as eficiências de aplicação no maior e menor quartil através das Equações 10 e 11. A Figura 4 apresenta as eficiências EAq (menor quartil) e EAm (maior quartil).

Figura 4. Eficiências de aplicação no maior quartil (EAq) e Eficiência de aplicação no menor quartil EAm em %.



Q: Quadrangular; T: Triangular; R: Retangular; 1,5 e 2 alturas da haste.

Avaliando o gráfico conclui-se que o aspersor NDJ5022, apresentou valores dentro dos limites estabelecidos Bernardo et al., (2006) apresentando EAq e EAm dentro da faixa de aceitação, os demais aspersores avaliados ficaram entre os intervalos de 50% a 60 % para EAq e 50% a 80 % para EAm.

Os aspersores Fabrimar e NDJ5022 foram os únicos que atenderam as exigências propostas na classificação de Mantovani (2001), sendo que aspersor Fabrimar aplica uma lâmina maior para a mesma pressão de serviço. A inadequada uniformidade de aplicação de água promove o excesso em uma área e a carência em outra (NASCIMENTO et al., 2017). Desta forma pode-se afirmar que os aspersores Fabrimar Pingo em arranjo triangular e haste de 2,00 e 1,50 m e o NDJ2022 para todos os arranjos e alturas de haste não apresenta inadequada uniformidade.

Campelo et al. (2014), relatam que a baixa uniformidade de água em irrigação por aspersão vem sendo rotineiramente relatada na literatura. Entretanto, muitas dessas baixas uniformidades estão associadas à utilização de arranjos inadequados ou a operação sob baixa pressão com aspersores que não apresentam um bom desempenho sob esta condição. Os resultados da análise de variância e teste de Scott-Knott (1974) para o coeficiente CUC e CUD nos arranjos quadrangular, retangular e triangular. Foram significativos para a fonte variação aspersor e fonte de variação arranjo no CUC e CUD a nível de 1% de probabilidade pelo teste F, sendo também significativo para interação aspersor versus arranjo no CUC e CUD a nível a nível de 5% de probabilidade pelo teste F, altura da haste não apresentou nenhum efeito significativo, o coeficiente de variação (CV) para o CUC e CUD foi de 3,89 e 6,88%, enquanto que a média foi de 74,51 e 63,53 respectivamente. A Figura 5

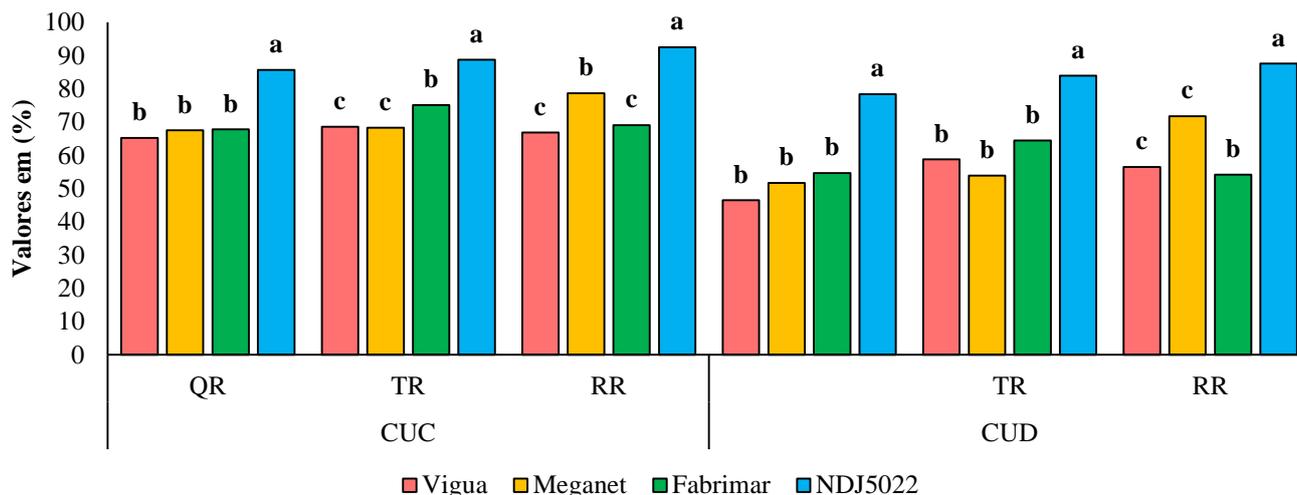
apresenta os resultados da análise de variância e teste de Scott-Knott (1974) para a interação aspersor e arranjo na fonte de variação coeficiente de uniformidade de Christiansen e coeficiente de uniformidade de distribuição.

De acordo com os resultados do teste de Scott-Knott na Figura 5, pode-se concluir que o aspersor NDJ5022 apresentou diferença significativa para os seus coeficientes em todos os arranjos para o CUD e CUC, o aspersor Fabrimar apresentou resultados iguais ao Vigua com exceção no arranjo triangular para o CUC e o arranjo Retangular para o CUD estatisticamente. Levando em consideração o arranjo triangular pode-se concluir que para o aspersor NDJ5022 e o aspersor Fabrimar apresentaram os melhores CUC e CUD dentro dos parâmetros proposto por Montovani (2001).

Jardim et al. (2018), avaliando a uniformidade de distribuição de água sob diferentes arranjos e sobreposição, concluiu que a lâmina de água aplicada por um aspersor se comporta de diferentes formas dependendo do arranjo utilizado. O mesmo resultado pode ser observado nos resultados apresentados vide Figura 5, onde se observa que para os diferentes arranjos ocorre variação nos coeficientes. A Tabela 5 apresenta a classificação segundo Mantovani (2001) para as medias de CUC e CUD apresentadas na Figura 5.

De acordo com a classificação de Mantovani (2001) fica evidente que para o CUC os aspersores Vigua e Meganet foram classificados como “ruim” entretanto seu CUD classificado como “Razoável”, o aspersor Fabrimar sob arranjo Triangular apresenta classificação “Razoável e Bom” para o CUC e CUD. O aspersor NDJ5022 apresentou classificação “Bom ou Excelente em todos os arranjos”.

Figura 5. Resumo da análise de desdobramento para o teste de Scott-Knott (1974), para o Coeficiente de uniformidade Christiansen (CUC) e Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) na interação Aspersor x Arranjo.



QR: Arranjo quadrangular; TR: Arranjo Triangular; RR: Arranjo Retangular

Tabela 5. Classificação dos coeficientes de uniformidades de aplicação de água segundo Mantovani (2001).

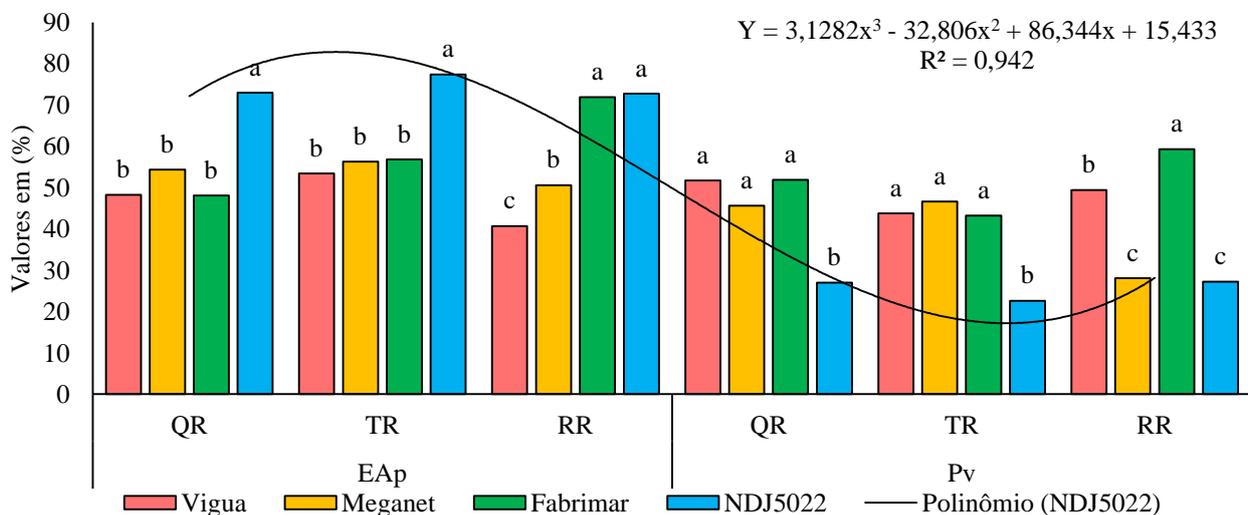
Aspersores	CUC			CUD		
	Quadrangular	Triangular	Retangular	Quadrangular	Triangular	Retangular
Vigua	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Razoável	Razoável
Meganet	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Razoável	Razoável
Fabrimar	Ruim	Razoável	Ruim	Razoável	Bom	Razoável
NDJ5022	Bom	Bom	Excelente	Bom	Bom	Excelente

CUC: Coeficiente de uniformidade Christiansen; CUD: Coeficiente de uniformidade de distribuição.

Santos et al. (2017), em avaliação do aspersor da marca Duro D1215, obteve CUC e CUD respectivos 80,15 e 65,2 % aplicando a mesma metodologia obteve resultados parecidos com o aspersor avaliado NDJ5022. Analisando a classificação da Tabela 6 observa-se que o aspersor Vigua e Meganet para todos os arranjos apresentaram os piores desempenhos “Ruins” para o CUC e “Razoável” para o CUD apenas no arranjo triangular e retangular. Os resultados da análise de variância e teste de Scott-Knott (1974) para a eficiência de aplicação potencial (EAp) e a pulverização pelo vento (Pv) nos arranjos quadrangular, retangular e triangular. Foram significativos para a fonte variação aspersor na fonte de

variação EAp e Pv a nível de 1% de probabilidade pelo teste F, fonte de variação arranjo e altura da haste não apresentaram efeitos significativos pelo teste F, entretanto a interação fonte de variação aspersor versus a fonte de variação arranjo apresentou efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, o coeficiente de variação (CV) para a EAp e Pv foi de 6,20 e 8,78%, enquanto que a média foi de 58,62 e 41,37 respectivamente. A Figura 6 apresenta os resultados da análise de variância e teste de Scott-Knott (1974) para a interação aspersor e arranjo na fonte de variação eficiência potencial de aplicação e pulverização pelo vento.

Figura 6. Desdobramento para o teste de Scott-Knott (1974), para a eficiência potencial de aplicação e pulverização pelo vento na interação Aspersor x Arranjo.



Observando a Figura 6, pode se verificar que o aspersor NDJ5022 foi o menos impactado tendo boa eficiência potencial e baixa pulverização pelo vento, em arranjo triangular e haste de 1,50 m demonstrou um índice e pulverização (Pv) 23,80%, sendo o menor valor obtido. Por outro lado o aspersor Fabrimar Pingo em arranjo retangular em haste de 1,50 m apresentou maior perda por pulverização 59,30% em decorrência da baixa eficiência de aplicação. Os aspersores Meganet, Fabrimar e Vigua para arranjos quadrangulares e triangulares. Quanto a EAp para arranjos triangular e quadrangular o aspersor Meganet, Fabrimar e Vigua estatisticamente não apresentaram diferença significativa.

CONCLUSÕES

A altura da haste de 2,00 m está mais sujeita a ação do vento. Os arranjos influenciam na eficiência de distribuição de água, sendo o arranjo triangular o que apresenta melhor custo benefício, por ter bons coeficientes quando comparado ao quadrangular e mais barata instalação se comparado com retangular.

Aspersores de baixa vazão sob baixas pressões de operação, quando empregado o arranjo e altura da haste adequada podem ser utilizados com bons resultados. Em áreas com maior incidência de ventos é necessário reduzir o espaçamento ou mudar o tipo de arranjo, para melhor distribuição. O aspersor NDJ5022 apresentou os melhores resultados para todos os arranjos.

REFERÊNCIAS

AQUINO, L. A.; BERGER, P. G. PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO IRRIGADO POR ASPERSÃO OU GOTEJAMENTO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO & I COTTON EXPO, 8., 2011, São Paulo. Congresso. São Paulo: Embrapa, 2011. p. 1803 - 189. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/52858/1/SIS-007Poster.181.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

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

BERTOSSI, A. P.; MILEN, L. C.; HOTT, M. A.; RODRIGUES, R. R.; REIS, R. F. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem. Nucleus, [s.l.], v. 10, n. 1, p.119-128, 30 2013. <http://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.864>.

CAMPELO, A. R.; FERNANDES, C. N. V.; SILVA, A. R. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; BEZERRA, F. M. L.; CANDIDÓ, M. J. D. Avaliação de sistemas de irrigação por aspersão em malha em áreas cultivadas com capim-braquiária. Agropecuária Técnica, v. 1, n. 35, p.1-12, 2014. Bimestral. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v35i1.9869>

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkeley: California Agricultural Station. Bulletin 670, 1942. 128 p.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SIMÕES, W. L.; COELHO, Y. S. IRRIGAÇÃO EM CITROS NAS

CONDIÇÕES DO NORDESTE DO BRASI. Laranja, Cordeirópolis, v. 27, n. 2, p.297-320, 2006. Disponível em: <<https://www.amigosdanatureza.org.br/eventos/data/inscricoes/2967/form209611.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

FAO, Food and Agriculture Organization of The United Nations. FAO's global information system on water and 96 agriculture. 2016. Elaborador FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm>. Acesso em: 26 abr. 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FRIGO, J. P.; VILAS BOAS, M. A.; FRIGO, E. P.; HERMES, E.; TESSARO, E. Irrigação diurna e noturna em um sistema de aspersão convencional em Palotina - PR. Irriga, v. 18, n. 2, p. 318-327, 2013. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n2p318>

JARDIM, C. C. S.; MOTOMIYA, A. V. A.; ARMANDO, E. J.; SANTOS, R. O.; OLIVEIRA, R. A. Distribuição da lâmina de água em aspersão em diferentes arranjos de sobreposição. Convibra, 2018.

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

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GARCIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). Idesia, v. 29, n. 3. p. 65-74, 2011. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000300010>

MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. Irrigação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Abril, 2009.

MENDONÇA, F. C.; CAMARGO, A. C.; STIVARI, A.; LIMA, C. R. C.; FERREIRA, F. C.; AKINAGA, L.; COTI, L. B.; GONÇALVES, L. R.; NETO, P. Q. Dimensionamento de sistemas de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar. São Carlos: Embrapa, 2007. 39 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/37741/4/Boletim10.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

NASCIMENTO, V. F.; FEITOSA, E. O.; SOARES, J. I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. Revista de Agricultura Neotropical, v. 4, n. 4, p.65-69, 2017.

SANTOS, J. B. S.; SILVA, S. S.; SALOMÃO, L. C.; PAZETE, W. O.; COSTA, J. V.; PIRES, T. H. Avaliação de uniformidade de distribuição de água na irrigação por aspersão convencional com diferentes pressões e

sobreposições. Congresso Estadual de Iniciação Científica e Tecnológica do IF Goiano – 2017, IV, Goiás, 2017.

SANTOS, M. S.; BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C. Métodos de Irrigação na Produtividade da Cana-de-Açúcar. 2017. II Simpósio brasileiro sobre governança e desenvolvimento sustentável. Disponível em: <<https://www.amigosdanatureza.org.br/eventos/data/inscricoes/2967/form209611.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. *Biometrics*, Washington D.C., v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SMITH, M.; MUÑOZ, G.; ALVAREZ, J. S. Técnicas de Irrigação para Agricultores de Pequena Escala: Práticas Fundamentais para Implementadores de RRC. [s.i.]: Fao, 2014. 14 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i3765o.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. *Scientific Agricultural*, v.27, p.565-583, 1947.