



**HAMILTON OLINTO PIMENTA LIMA JUNIOR**

**CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO ASPERSOR ED424s**

**LAVRAS-MG**

**2023**

# **CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO ASPERSOR ED424s**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Colegiado de Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Victor Buono da Silva Baptista  
Orientador

M. Sc. Francisco Nogueira Vilaça  
Coorientador

**Lavras-MG**  
**2023**

# **CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO ASPERSOR ED424s**

## **HYDRAULIC CHARACTERIZATION OF THE SPRINKLER ED424s**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Colegiado de Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 28 de julho de 2023

Prof. Dr. Victor Buono da Silva Baptista

M.Sc. Francisco Nogueira Vilaça

B. Sc. Lincoln Oliveira Mendes

Prof. Dr. Victor Buono da Silva Baptista

Orientador

M. Sc. Francisco Nogueira Vilaça

Coorientador

**Lavras-MG**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras.

Ao professor Victor Buono da Silva Baptista, pelos ensinamentos, amizade e orientação na realização deste trabalho.

A todo corpo docente do curso de graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos recebidos.

A todos os amigos do curso, pela convivência e troca de conhecimentos.

Aos funcionários do Departamento de Recursos Hídricos, pelo apoio através dos serviços prestados.

A todos meus familiares e amigos, pelo amparo e suporte que foram essenciais em todos os momentos.

A Deus, por sempre se fazer presente.

## RESUMO

Em projetos de irrigação, a seleção do aspersor é realizada através das informações provenientes dos catálogos técnicos dos fabricantes. A seleção adequada do canhão hidráulica permite a obtenção de alta uniformidade de aplicação de água. Uma distribuição uniforme é fundamental para garantir que todas as plantas recebam a quantidade adequada de água, evitando o estresse hídrico em algumas áreas e o desperdício em outras. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização hidráulica do aspersor ED424s, que podem ser utilizados em carretéis autopropelidos e em finais de linha de pivôs centrais. O experimento foi conduzido em uma bancada de testes de aspersor de longo alcance no Laboratório de Irrigação do Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. Foram realizados os ensaios do aspersor do tipo canhão hidráulico, da marca EDERER, modelo ED424s, para oito bocais cônicos com diâmetros de saída de 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 e 30mm, em seis faixas de pressão 196, 294, 392, 490, 588 e 686 kPa, que correspondem as seguintes cargas de pressão: 20, 30, 40, 50, 60 e 70m. Foram coletados os valores de vazão e raio de alcance para as 48 combinações de bocal e pressão. O coeficiente de descarga foi determinado para avaliar a consistência dos dados medidos. Os valores de raio de alcance e vazão variaram entre 24,2 e 61,9m e 13,9 e 92,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente. Os valores de coeficiente de descarga variaram homogeneamente entre 0,97 a 0,88 para os bocais de 16 a 30mm. Os bocais com diâmetros de 24, 26, 28 e 30mm apresentaram baixa eficiência quando operados na pressão nominal de 2 kgf cm<sup>-2</sup>, não sendo recomendada a sua utilização nessa faixa de pressão.

**Palavras-Chave:** Vazão, Pressão, Raio de alcance, Coeficiente de Descarga.

## ABSTRACT

In irrigation design, the sprinkler selection is performed using information from the manufacturers' technical catalogues. The adequate selection of the hydraulic gun allows the achievement of high uniformity of water application. A uniform distribution is essential to ensure that all plants receive the adequate amount of water, avoiding water stress in some areas and wastage in others. In this sense, the objective of this work was to carry out the hydraulic characterization of the ED424s sprinkler, which can be used in self-propelled reels and at the end of center pivot lateral line. The experiment was conducted on a big gun test device at the Irrigation Laboratory of the Department of Water Resources (DRH) at the Federal University of Lavras, Lavras - MG. Tests were carried out on a hydraulic big gun, EDERER brand, model ED424s, for eight conical nozzles with water outlet diameters of 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 and 30mm, in six pressure ranges 196, 294, 392, 490, 588 and 686 kPa, which correspond to the following pressure heads: 20, 30, 40, 50, 60 and 70m. The flow rate and radius of throw values were collected for the 48 combinations of nozzle and pressure. The discharge coefficient was determined to assess the consistency of the measured data. The radius of throw and flow values varied between 24.2 and 61.9 m and 13.9 and 92.5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, respectively. The discharge coefficient values varied homogeneously between 0.97 to 0.88 for nozzles from 16 to 30mm. Nozzles with diameters of 24, 26, 28 and 30mm showed low efficiency when operated at a nominal pressure of 2 kgf cm<sup>-2</sup>, and their use in this pressure range is not recommended.

**Keywords:** Flow rate, Pressure, Radius of throw, Discharge coefficient.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Fig. 1.</b> Sistema de irrigação do tipo carretel autopropelido. <b>Fonte:</b> Autor (2023)  | 10 |
| <b>Fig. 2:</b> Canhão final da linha lateral de um Pivô central. <b>Fonte:</b> Nelson irrigation, (Manual do fabricante).                                   | 12 |
| <b>Fig.3.</b> (a) AspersorED424s. (b) Bocais ensaiados. (c) Vista do canhão e coletores <b>Fonte:</b> Autor (2023)  | 17 |
| <b>Fig. 4.</b> Bancada de testes de aspersores de longo alcance do Departamento de Recursos Hídricos (DRH/UFLA). <b>Fonte:</b> Adaptado de Teixeira (2017). | 18 |
| <b>Fig. 5.</b> (a) medidor eletromagnético de vazão. (b) manômetro digital <b>Fonte:</b> Autor (2023).  | 19 |
| <b>Fig. 6.</b> Determinação dos valores de $k_{asp}$ e $x$ para os diferentes bocais. <b>Fonte:</b> Autor (2023).   | 23 |
| <b>Fig. 7.</b> Valores de coeficiente de descarga em função dos diâmetros dos bocais. <b>Fonte:</b> Autor (2023).   | 24 |
| <b>Fig. 8.</b> Relação do raio de alcance medido com a razão entre os valores de vazão e diâmetro do bocal. <b>Fonte:</b> Autor (2023).                     | 25 |
| <b>Fig. 9.</b> Relação do raio de alcance medido com o produto dos valores de vazão e carga de pressão. <b>Fonte:</b> Autor (2023).                         | 26 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1.</b> Alguns fabricantes de canhões utilizados em autopropelidos | 22 |
| <b>Tabela 2.</b> Valores coletados de Raio de Alcance.                      | 22 |
| <b>Tabela 3.</b> Valores coletados de Vazão.                                | 24 |



## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 9  |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO .....   | 10 |
| 2.1. Uso de aspersores de longo alcance em sistemas de irrigação por aspersão..... | 10 |
| 2.1.1. Carretel Autopropelido.....   | 10 |
| 2.1.2. Pivô Central.....   | 11 |
| 2.2. Aspersores para autopropelido .....   | 12 |
| 2.3. Realização de teste de aspersores.....  | 14 |
| 2.4. Coeficiente de descarga.....  | 15 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 17 |
| 3.1. Aspersor ED424s .....   | 17 |
| 3.2. Local de testes e coleta de dados.....  | 18 |
| 3.3 Coeficiente de descarga do aspersor .....                                      | 20 |
| 3.4 Relação do raio de alcance .....   | 21 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 22 |
| 4.2. Coeficiente de descarga.....  | 23 |
| 4.3. Relação do raio de alcance .....  | 25 |
| 4.4 Discussão Geral.....   | 26 |
| 5. CONCLUSÃO .....   | 28 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 29 |

## 1. INTRODUÇÃO

O método de irrigação por aspersão pode ser dividido entre os seguintes sistemas: sistema convencional, carretel autopropelido, pivô central e linear móvel. Para os sistemas de irrigação do tipo carretel autopropelido e tipo pivô central, são utilizados aspersores de longo alcance, também conhecidos como canhões hidráulicos. Nos sistemas do tipo carretel autopropelido, são montados sobre carros que se movimentam através de faixas de irrigação. Ou seja, um único aspersor de água é utilizado para irrigar a área. Nos sistemas de irrigação do tipo pivô central, são utilizados no final da linha lateral, para aumentar a área irrigada e irrigação de cantos.

Em projetos de irrigação, a seleção do aspersor é realizada através das informações provenientes dos catálogos técnicos dos fabricantes. Nestes catálogos, são apresentados os valores de vazão e raio de alcance em diversas faixas de pressão de trabalho. Com estas informações, é possível selecionar o aspersor mais adequado para cada situação.

A seleção adequada do canhão hidráulico permite a obtenção de alta uniformidade de aplicação de água. Uma distribuição uniforme é fundamental para garantir que todas as plantas recebam a quantidade adequada de água, evitando o estresse hídrico em algumas áreas e o desperdício em outras. Dessa forma, é evidente que as informações contidas nos catálogos técnicos devem ser confiáveis para serem utilizadas nos projetos de irrigação.

Para obter essas informações, os fabricantes devem realizar os ensaios de canhões hidráulicos seguindo a norma ISO 8224-1 (2004) e ISO 15886-3 (2012), que tratam sobre os testes de laboratório para carretéis autopropelidos e aspersores de irrigação, respectivamente.

Os fabricantes de equipamentos de irrigação dependem de laboratórios de testes que possuam infraestrutura para realizar tais testes. O Laboratório de Irrigação do Departamento de Recursos Hídricos (DRH/UFLA), possui essa infraestrutura de testes para aspersores de longo alcance, além de diversos conjuntos motobomba. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização hidráulica do aspersor ED424s, que podem ser utilizados em carretéis autopropelidos e em finais de linha de pivôs centrais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Uso de aspersores de longo alcance em sistemas de irrigação por aspersão.

#### 2.1.1. Carretel Autopropelido

Os sistemas de irrigação por aspersão autopropelidos (Fig. 1) é uma forma avançada de sistema de irrigação que utiliza uma estrutura móvel para distribuir a água sobre uma área de cultivo. Nesse tipo de sistema, a fonte de água estática, como um poço ou canal, é conectada a uma estrutura autopropelida que se desloca ao longo do campo, fornecendo água de maneira uniforme por meio de aspersores (BERNARDO et al., 2011).

**Fig. 1.** Sistema de irrigação do tipo carretel autopropelido.



**Fonte:** Autor (2023)

Os sistemas de irrigação por aspersão autopropelidos são projetados para distribuir a água sobre a área de cultivo de forma eficiente e uniforme. Geralmente, eles são compostos por uma torre ou mastro móvel, montado em um veículo ou estrutura autopropelida. O veículo é movido por um sistema hidráulico ou mecânico ao longo do campo, enquanto a torre contém os aspersores que liberam a água sobre as plantas. Esses sistemas apresentam várias vantagens em comparação com outros métodos de irrigação (BERNARDO et al., 2011).

Entre as principais vantagens estão a capacidade de cobrir grandes áreas de cultivo de forma eficiente, a flexibilidade para ajustar a taxa de aplicação de água de acordo com as necessidades específicas das plantas e a possibilidade de trabalhar em terrenos com diferentes inclinações ou formas irregulares. Os mesmos são compostos por uma torre móvel e os aspersores, eles incluem uma bomba para fornecer água à torre, tubulações para transportar a água até os aspersores, sistemas de controle para ajustar a taxa de aplicação de água e sistemas de tração para mover o veículo ao longo do campo (BERNARDO et al., 2011).

A eficiência dos sistemas de irrigação por aspersão autopropelidos pode ser influenciada por vários fatores, como a uniformidade da distribuição de água, o tamanho e a configuração dos aspersores, a pressão da água, o espaçamento entre os aspersores e a velocidade de deslocamento do veículo. A eficiência também pode ser afetada pelo manejo adequado do sistema, como a programação adequada dos tempos de irrigação e a manutenção regular dos componentes (BERNARDO et al., 2011).

Ao avaliar a viabilidade dos sistemas de irrigação por aspersão autopropelidos, é importante considerar os aspectos econômicos e ambientais. Embora esses sistemas possam ser inicialmente mais caros do que alguns outros métodos de irrigação, eles podem levar a economias de água a longo prazo e aumentar a produtividade das culturas. Além disso, a aplicação eficiente de água pode reduzir os riscos de desperdício e lixiviação de nutrientes, contribuindo para a sustentabilidade ambiental (BERNARDO et al., 2011).

### **2.1.2. Pivô Central**

Devido ao movimento de rotação da linha lateral do pivô, uma quantidade significativa (21,5%) da área do quadrado que inscreve o círculo irrigado não é aproveitada para a irrigação (SOLOMON; KODOMA, 1978). Uma estratégia adotada para aumentar a proporção de área irrigada tem sido a utilização de grandes aspersores na extremidade da linha lateral, comumente chamados de canhão final (BERNUTH, 1983), que são acionados quando a linha lateral se aproxima dos cantos do quadrado que inscreve o círculo irrigado. Além disto, os canhões finais, quando acionados durante todo o giro da lateral, permitem um aumento do raio irrigado permitindo um acréscimo de área irrigada (BERNUTH, 1983).

**Fig. 2:** Canhão final da linha lateral de um pivô central.



**Fonte:** Nelson irrigation, (Manual do fabricante).

## 2.2. Aspersores para autopropelido

Os aspersores em equipamentos autopropelidos desempenham um papel fundamental na agricultura moderna, especialmente no que diz respeito à irrigação de grandes áreas de cultivo. Eles são uma parte essencial dos sistemas de irrigação, permitindo a aplicação uniforme de água e outros produtos químicos necessários para o crescimento das plantas. Os aspersores autopropelidos são projetados para fornecer uma distribuição uniforme de água sobre a área de cultivo. Com sua capacidade de movimentação automática, eles cobrem grandes extensões de terreno de forma eficiente, garantindo que todas as plantas recebam a quantidade adequada de água. Isso evita o desperdício de água e garante o uso eficiente dos recursos hídricos (TEIXEIRA, 2018).

Os aspersores autopropelidos podem ser ajustados de acordo com as necessidades específicas das culturas em diferentes estágios de crescimento. É possível regular a intensidade, o alcance e o padrão de pulverização para se adequar a diferentes tipos de plantas, tamanhos de campo e condições climáticas. Essa flexibilidade permite otimizar a irrigação e melhorar o rendimento das colheitas (TEIXEIRA, 2018).

Os equipamentos autopropelidos, incluindo os aspersores, reduzem significativamente a necessidade de mão de obra manual na irrigação. Antes do advento dessas tecnologias, a irrigação em grandes áreas exigia a instalação de sistemas fixos de irrigação por aspersão ou a utilização de métodos mais trabalhosos, como o uso de mangueiras e regadores (TEIXEIRA, 2018).

Com os aspersores autopropelidos, é possível automatizar o processo de irrigação, economizando tempo, recursos e mão de obra. Além da água, os aspersores autopropelidos também podem ser utilizados para a aplicação de fertilizantes, pesticidas e outros produtos químicos necessários para o manejo das culturas. Com sua capacidade de movimentação controlada e ajustes precisos, esses equipamentos garantem a distribuição adequada desses produtos, evitando excessos ou deficiências que possam afetar negativamente as plantas (TEIXEIRA, 2018).

Os aspersores autopropelidos distribuem a água de forma uniforme sobre a área de cultivo, evitando o excesso de concentração de umidade em pontos específicos. Isso contribui para a redução da compactação do solo, um problema comum em sistemas de irrigação que não distribuem a água de maneira uniforme. A compactação do solo pode afetar o crescimento das raízes das plantas e comprometer a produtividade das culturas (TEIXEIRA, 2018).

Em resumo, os aspersores em equipamentos autopropelidos são ferramentas essenciais na agricultura moderna, proporcionando eficiência, flexibilidade, economia de mão de obra, precisão na aplicação de produtos químicos e melhor manejo do solo. Eles desempenham um papel crucial na garantia do crescimento saudável das plantas, maximizando a produtividade das colheitas e minimizando o desperdício de recursos (TEIXEIRA, 2018).

Com o uso dessas tecnologias, os agricultores podem otimizar a irrigação e obter melhores resultados em suas atividades agrícolas.

De acordo com Bernardo et al. (2011, pág.365), os “aspersores gigantes” de longo alcance operam com pressões de serviço variando entre 490 e 785 kPa (carga de 50 a 80 mca) e apresentam um raio de alcance de 40 a 80 m. Keller & Bliesner (1990, pág.67) citam intervalos de pressão entre 550 e 880 kPa com intervalo de raio de alcance entre 30 a 61m. Esses aspersores de grande porte são usados em sistemas de irrigação autopropelido, e também, em alguns casos, são implantados em pivô central, quando há necessidade de aumentar o raio irrigado do mesmo (Tarjuelo, 2005).

Considerando a variedade de modelos de canhões hidráulicos disponíveis no mercado, são listados alguns fabricantes de canhões utilizados em autopropelidos: Nelson Corporation Irrigation, Sime, Komet Irrigation, Plona Equipamentos Ltda, Rain Bird, TORO e Fabrimar,

### **2.3. Realização de teste de aspersores**

A realização de testes em aspersores é de extrema importância para garantir o correto funcionamento e desempenho desses dispositivos. Os testes em aspersores podem ser realizados tanto durante a instalação inicial quanto como parte da manutenção regular do sistema de irrigação. Testes adequados em aspersores ajudam a garantir que a distribuição de água seja uniforme e adequada. Isso é crucial para uma irrigação eficiente, pois garante que todas as áreas do terreno recebam a quantidade necessária de água. Os testes em aspersores podem identificar problemas, como vazamentos, obstruções ou mau funcionamento dos bocais. A detecção precoce desses problemas permite que sejam corrigidos rapidamente, evitando desperdício de água, danos ao paisagismo e perda de eficiência do sistema. Um sistema de aspersão mal ajustado ou com problemas pode desperdiçar grandes quantidades de água (TEIXEIRA, 2018).

Os testes em aspersores permitem ajustar a pressão, o alcance e a distribuição adequados da água, maximizando a eficiência e reduzindo o consumo de água. Isso pode levar a economias significativas nos custos de água e ajudar na conservação dos recursos hídricos. A realização de testes regulares em aspersores ajuda a preservar a saúde e a aparência do paisagismo. As áreas que recebem pouca ou muita água devido a problemas nos aspersores podem resultar em plantas murchas, áreas secas ou excessivamente encharcadas, afetando negativamente a estética e a saúde das plantas (TEIXEIRA, 2018).

Aspersores mal direcionados ou com mau funcionamento podem causar danos estruturais a edifícios, calçadas, pisos ou outros elementos do ambiente. Testes em aspersores ajudam a evitar a pulverização excessiva de água em áreas indesejadas, minimizando o risco de danos (TEIXEIRA, 2018).

Em resumo, a realização de testes em aspersores é essencial para garantir uma irrigação eficiente, economia de água, conservação do paisagismo e prevenção de danos. Esses testes devem ser realizados regularmente para identificar e corrigir

problemas, maximizando o desempenho do sistema de aspersão e prolongando sua vida útil (TEIXEIRA, 2018).

#### 2.4. Coeficiente de descarga

Em escoamentos forçados, quando a seção transversal diminui bruscamente, as partículas fluidas aproximam-se do orifício descrevendo trajetórias convergentes. Isto obriga o jato formado a sofrer uma contração em uma seção transversal, ocorrendo um valor mínimo de área na seção em uma posição em que os filetes são paralelos, denominada seção contraída. A razão entre a área do jato na seção contraída e a área nominal do orifício define o denominado Coeficiente de Contração mensurada através da Equação 1.

Devido à existência de perdas de carga localizada (energia hidráulica) durante a passagem da água pelo orifício, sua velocidade real na seção de saída do bocal é ligeiramente menor que a velocidade teórica obtida através das Equações 2 e 3, assim como a seção contraída do jato de água é menor do que a seção do bocal. Ao produto dos coeficientes de contração e de velocidade define-se o coeficiente de descarga, obtida pela Equação 4. (SILVA et al., 2015).

$$C_c = \frac{A_c}{A} \quad (1)$$

Onde:

$C_c$  – coeficiente de contração adimensional;

$A_c$  – área contraída, mm<sup>2</sup>;

$A$  – área real, mm<sup>2</sup>.

$$V_t = \sqrt{2 g H} \quad (2)$$

Onde:

$V_t$  – velocidade teórica, m s<sup>-1</sup>;

$g$  – aceleração da gravidade, m s<sup>-2</sup>;



H – carga de pressão, m.

$$Cv = \frac{v}{\sqrt{2gH}} \quad (3)$$

Onde:

Cv – coeficiente de velocidade, adimensional;

v – velocidade real, m s<sup>-2</sup>;

$$Cd = Cc \cdot Cv \quad (4)$$

Onde:

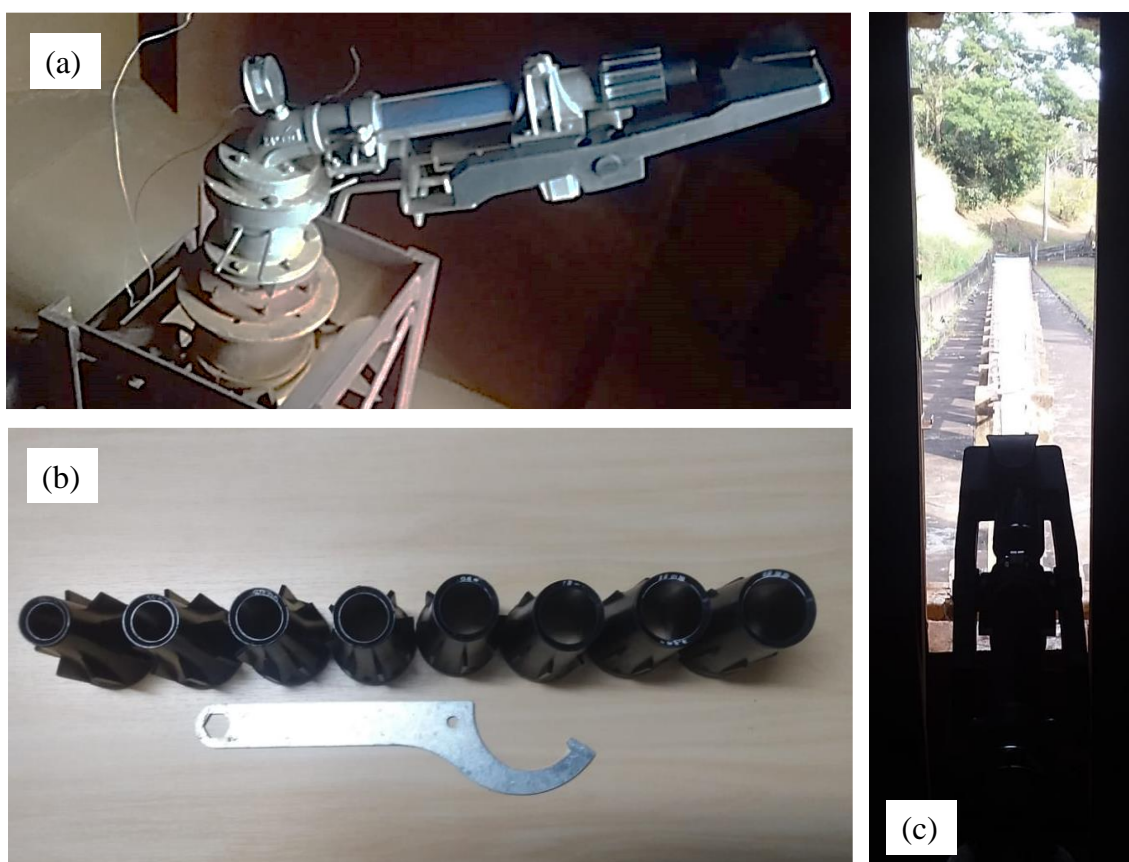
Cd – coeficiente de descarga, adimensional.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Aspersor ED424s

Foi realizado o ensaio do aspersor do tipo canhão hidráulico, da marca EDERER, modelo ED424s (Fig. 3a), com oito bocais cônicos, com os seguintes diâmetros de saída: 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 e 30mm (Fig. 3b).

**Fig. 3.** (a) Aspersor ED424s. (b) bocais ensaiados. (c) vista do canhão e coletores.



**Fonte:** Autor (2023)

Este canhão apresenta um ângulo de inclinação de jato de água de  $24^\circ$  e um mecanismo de setorial de reversão lenta, com giro acionado por um braço com oscilação vertical.

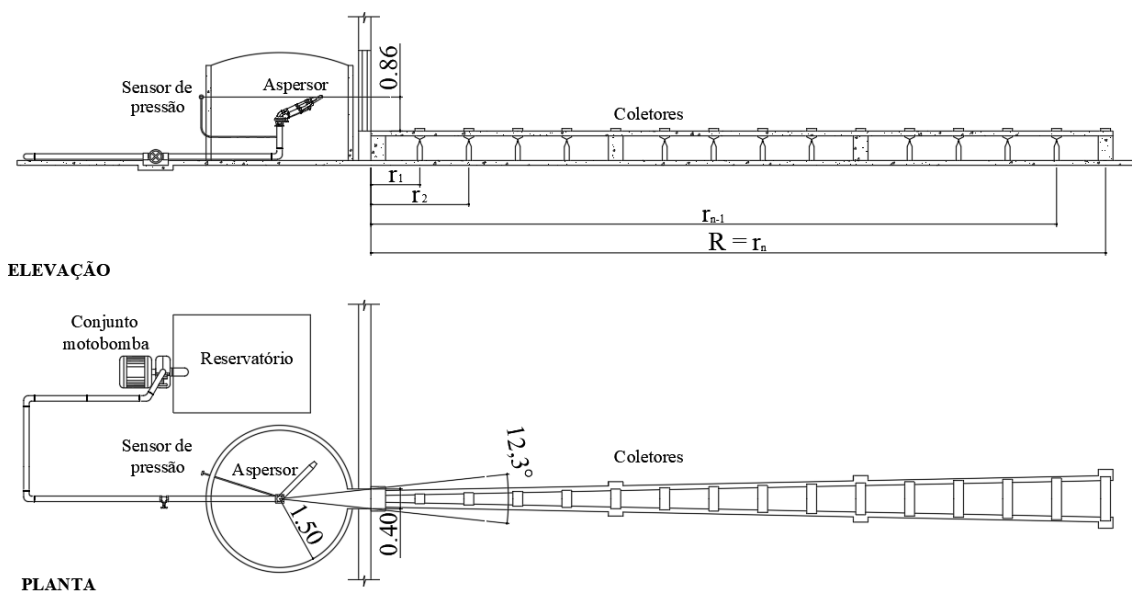
### 3.2. Local de testes e coleta de dados

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

Foram coletados os dados de raio de alcance do jato (em metros) e a vazão (em  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ), para cada um dos oito bocais, em seis diferentes pressões de serviço: aproximadamente 196, 294, 392, 490, 588 e 686 kPa, que correspondem as seguintes cargas de pressão: 20, 30, 40, 50, 60 e 70m.

Para coletar os dados, foi utilizada uma bancada de testes (Fig. 4) com a seguinte composição: i) tanque de captação de água; ii) três conjuntos motobomba da marca KSB, modelos ETA 160/20, ETA100/20 e ETA 80/20, com rotação nominal de 3530 rpm e diâmetro do rotor de 203 mm. Em função do diâmetro do bocal e da pressão de serviço, esses conjuntos motobomba foram utilizados individualmente ou associados em paralelo; iii) tubulação de aço dotada de válvulas do tipo gaveta e válvula de retenção; iv) campânula para abrigo do aspersor, com raio de 1,5 m e abertura de  $12.3^\circ$ ; e v) linha de coletores (Fig. 3c), com espaçamento variável, que se estende a uma distância máxima de 70 m do centro utilizados para demarcar o alcance do jato.

**Fig. 4.** Bancada de testes de aspersores de longo alcance do Departamento de Recursos Hídricos (DRH/UFLA)

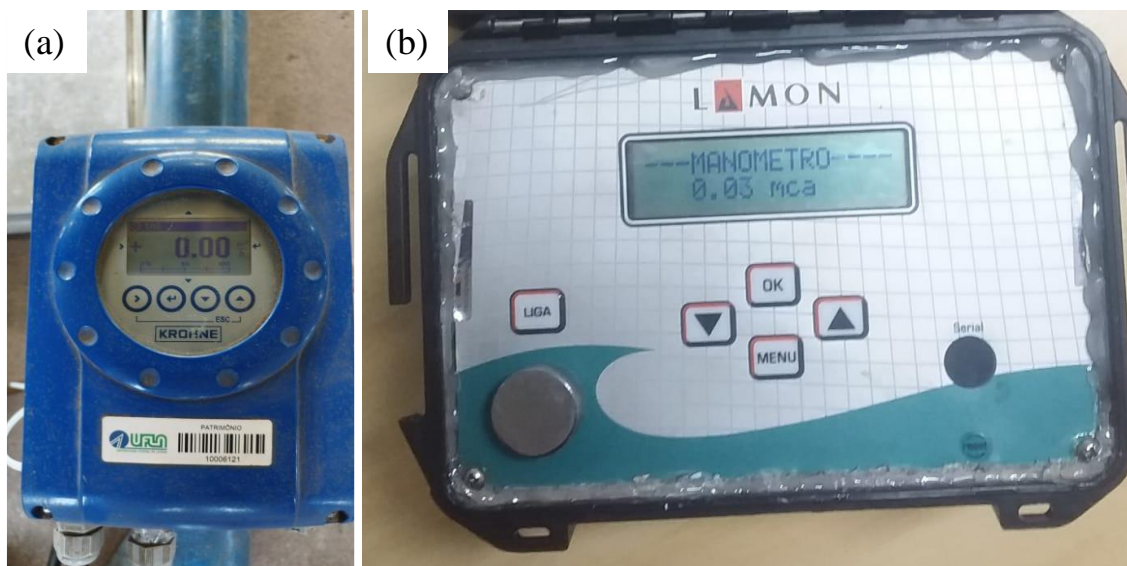


**Fonte:** Adaptado de Teixeira (2017)

Para ajustar a pressão de serviço, foi instalado um manômetro digital da marca Lamon, modelo DMP-01-DP com 0,1% FS (Fig. 5a), conectado na entrada do canhão, como pode-se observar na Fig. 4. De acordo com a *International Organization for Standardization* - norma ISO 15886-3 (ISO, 2012), as pressões foram tomadas na mesma altura da saída de água do bocal principal. Os valores de pressão de serviço do canhão foram ajustados antes do início do giro do aspersor, e foram monitorados durante os ensaios, a cada 5 minutos, para assegurar que não houvesse oscilação no valor da pressão fornecida. Durante os ensaios, o ângulo de giro do canhão foi fixado em 180°.

Os valores de vazão foram mensurados através de um medidor magnético de vazão, marca KROHNE, modelo IFS4000 (Fig. 5b). A leitura foi aferida a cada mudança de pressão e ao trocar os bocais, ao todo foram realizadas 48 leituras, seis pressões diferentes para cada bocal.

**Fig. 5.** (a) medidor eletromagnético de vazão. (b) manômetro digital



**Fonte:** Autor (2023)

A distância de cada coletor de água foi medida através da utilização de uma fita métrica de fibra de vidro com comprimento de 50m. A medição foi iniciada no centro do canhão até o centro de cada coletor. Dessa forma, em cada um dos testes realizados, o valor do raio de alcance foi considerado como sendo a distância do último coletor atingido pelo jato.

### 3.3 Coeficiente de descarga do aspersor

Através dos dados coletados de vazão para cada um dos oito bocais nas seis diferentes pressões de serviço adotadas, foi possível determinar o coeficiente de descarga para cada bocal. Foram utilizadas as equações da vazão do aspersor (vazão real, Eq. 1) e do orifício (vazão teórica, Eq. 2) para determinação do coeficiente de descarga.

$$Q = k_{asp} H^x \quad (1)$$

$$Q = A cd \sqrt{2 g H} \quad (2)$$

Onde:

Q é a vazão real medida, em m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>;

k<sub>asp</sub> é o coeficiente de descarga real aspersor, em m<sup>(3-x)</sup> h<sup>-1</sup>;

H é a carga de pressão aferida em cada teste, em m;

x é o expoente da carga de pressão, obtida no Ms Excel;

A é área da seção transversal da saída do bocal, em m<sup>2</sup>;

cd é o coeficiente de descarga teórico do aspersor;

g é a aceleração da gravidade, com o valor de 9,80665 m s<sup>-1</sup>.

Igualando a vazão teórica com a vazão real, temos:

$$A cd \sqrt{2 g H} = k_{asp} H^x \quad (3)$$

$$\frac{\pi D^2}{4} cd \sqrt{2 g H} = k_{asp} H^x \quad (4)$$

$$cd = \frac{k_{asp} \sqrt{H}^x}{\sqrt{2 g H}} \frac{4}{\pi D^2} \quad (5)$$

Onde:

D é o diâmetro interno da saída do bocal, em m.

A determinação do  $k_{asp}$  e  $x$  foi através da linha de tendência de equação potencial do Ms Excel, ajustada aos dados coletados de carga de pressão e vazão. Na Eq. 5, foi utilizado a raiz da carga de pressão para se obter uma equação do tipo potencial, ou seja,  $y = a x^b$ .

### **3.4 Relação do raio de alcance**

Os valores de raio de alcance coletados foram comparados seguindo a metodologia proposta por Kincaid (1982), que relaciona o raio de alcance com o  $Q D^{-1}$  e  $Q H^{0.5}$ .

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos 48 ensaios são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1. Valores coletados de Raio de Alcance**

| <b>Bocal</b> | <b>16</b>                  | <b>18</b> | <b>20</b> | <b>22</b> | <b>24</b> | <b>26</b> | <b>28</b> | <b>30</b> |
|--------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>H (m)</b> | <b>Raio de Alcance (m)</b> |           |           |           |           |           |           |           |
| 20           | 24.2                       | 25.3      | 25.9      | 26.4      | 26.4      | 26.4      | 26.4      | 27.6      |
| 30           | 29.9                       | 31.5      | 35.9      | 36.7      | 38.5      | 38.9      | 39.9      | 40.6      |
| 40           | 35.2                       | 36.7      | 39.9      | 43.3      | 44.1      | 44.8      | 45.2      | 46.5      |
| 50           | 38.9                       | 39.9      | 43.3      | 45.2      | 48.4      | 50.4      | 50.9      | 51.3      |
| 60           | 41.6                       | 42.6      | 47.1      | 47.9      | 50.9      | 55.1      | 55.7      | 56.8      |
| 70           | 43.3                       | 48.4      | 49.4      | 53.2      | 55.1      | 57.5      | 59.4      | 61.9      |

**Tabela 2. Valores coletados de Vazão**

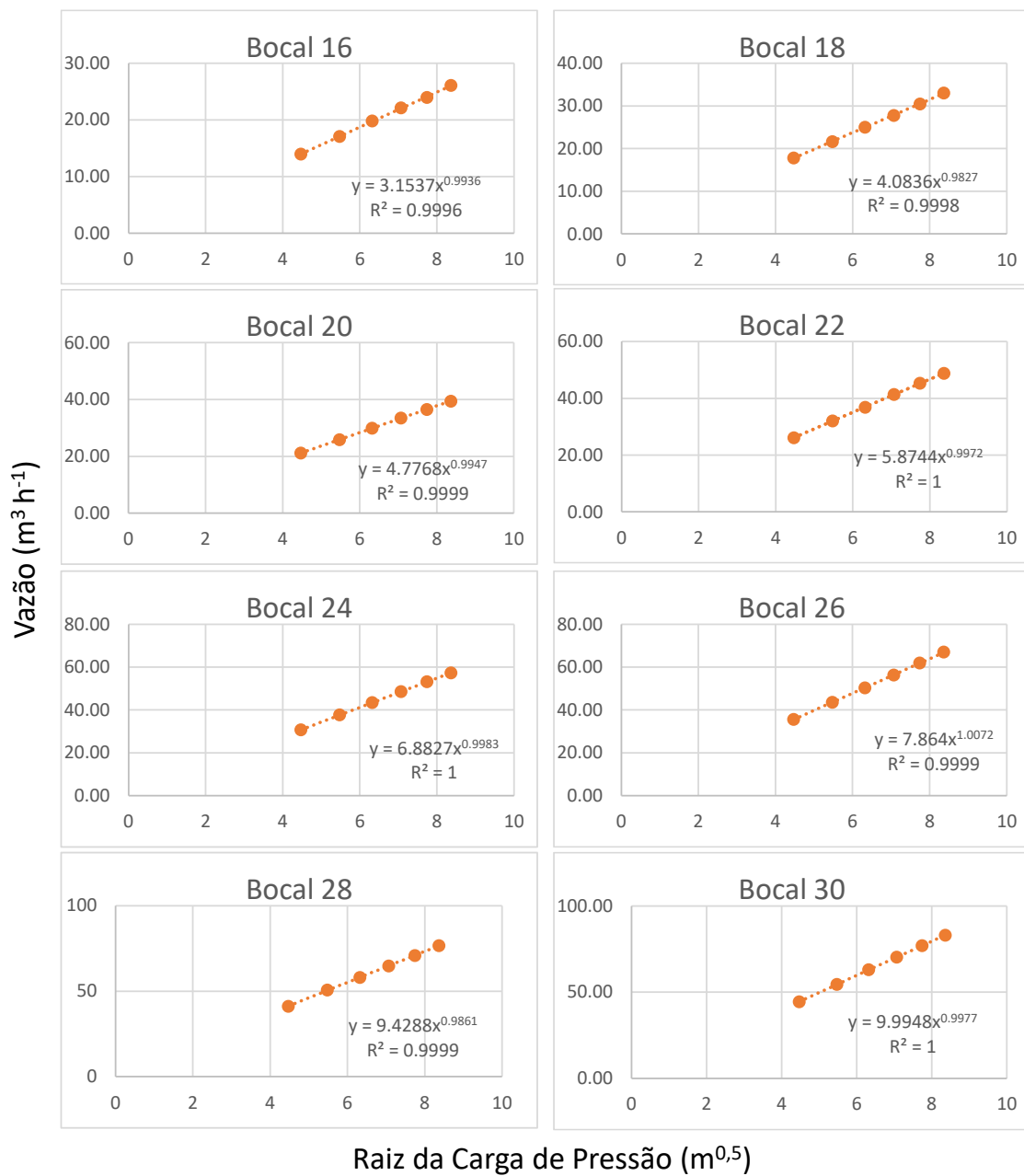
| <b>Bocal</b> | <b>16</b>                                   | <b>18</b> | <b>20</b> | <b>22</b> | <b>24</b> | <b>26</b> | <b>28</b> | <b>30</b> |
|--------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>H (m)</b> | <b>Vazão (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)</b> |           |           |           |           |           |           |           |
| 20           | 13.9  | 17.2      | 21.2      | 28.5      | 35.2      | 43.3      | 42.9      | 49.7      |
| 30           | 17.1  | 20.8      | 26.9      | 35.1      | 43.5      | 51.8      | 52.7      | 60.6      |
| 40           | 19.7  | 23.8      | 30.1      | 40.5      | 48.7      | 59.7      | 60.9      | 70.3      |
| 50           | 21.9  | 27.1      | 33.9      | 45.3      | 54.3      | 66.6      | 68.2      | 79.1      |
| 60           | 23.7  | 29.2      | 37.3      | 51.1      | 59.2      | 72.5      | 74.7      | 86.3      |
| 70           | 25.6  | 32.1      | 40.3      | 54        | 63.9      | 77.2      | 81.1      | 92.5      |

Para verificar a consistência dos dados obtidos, foram determinados os coeficientes de descarga para cada bocal, utilizando valores de vazão, carga de pressão e diâmetro.

## 4.2. Coeficiente de descarga

Foram determinados os valores do coeficiente de descarga do aspersor ( $k_{asp}$ ) e do expoente da carga de pressão ( $x$ ), da equação da vazão real do aspersor, apresentados na Fig. 6. Estes valores foram determinados através dos dados coletados de vazão nas diferentes cargas de pressão aferidas durante os ensaios.

**Fig. 6.** Determinação dos valores de  $k_{asp}$  e  $x$  para os diferentes bocais.



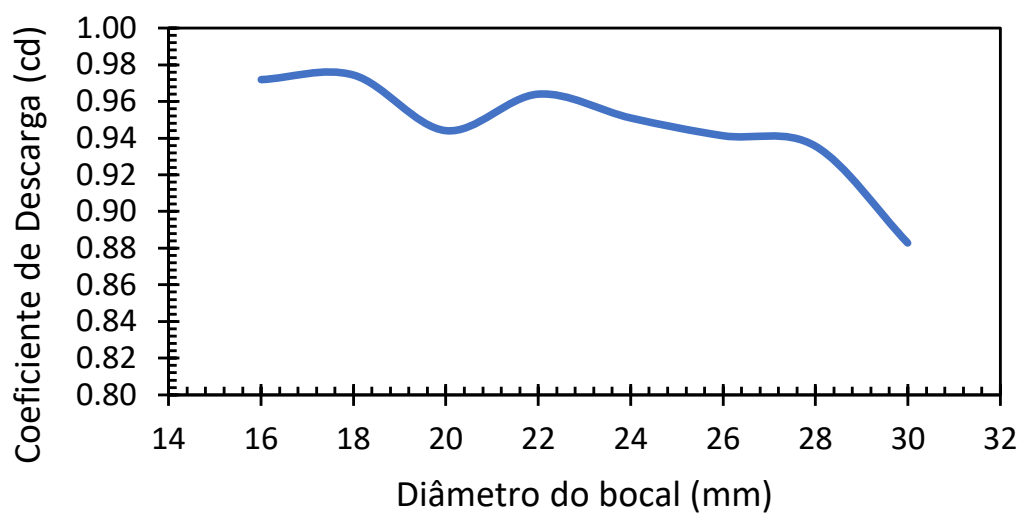


Os valores de coeficiente de descarga (cd), determinados através da Eq. 5, são apresentados na Tabela 3 e na Fig. 7.

**Tabela 3.** Valores de coeficiente de descarga

| Pressão<br>Kgf/cm <sup>2</sup>      | Bocal       | Bocal       | Bocal       | Bocal       | Bocal       | Bocal       | Bocal       | Bocal       |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                     | 16          | 18          | 20          | 22          | 24          | 26          | 28          | 30          |
| <b>Coeficiente de Descarga (CD)</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 2                                   | 0.974       | 0.981       | 0.946       | 0.965       | 0.952       | 0.939       | 0.940       | 0.884       |
| 3                                   | 0.973       | 0.977       | 0.945       | 0.965       | 0.951       | 0.940       | 0.938       | 0.883       |
| 4                                   | 0.972       | 0.975       | 0.944       | 0.964       | 0.951       | 0.941       | 0.936       | 0.883       |
| 5                                   | 0.971       | 0.973       | 0.944       | 0.964       | 0.951       | 0.942       | 0.935       | 0.883       |
| 6                                   | 0.971       | 0.971       | 0.943       | 0.964       | 0.951       | 0.943       | 0.933       | 0.883       |
| 7                                   | 0.970       | 0.970       | 0.943       | 0.963       | 0.951       | 0.943       | 0.932       | 0.882       |
| <b>CD<br/>médio</b>                 | <b>0.97</b> | <b>0.97</b> | <b>0.94</b> | <b>0.96</b> | <b>0.95</b> | <b>0.94</b> | <b>0.94</b> | <b>0.88</b> |

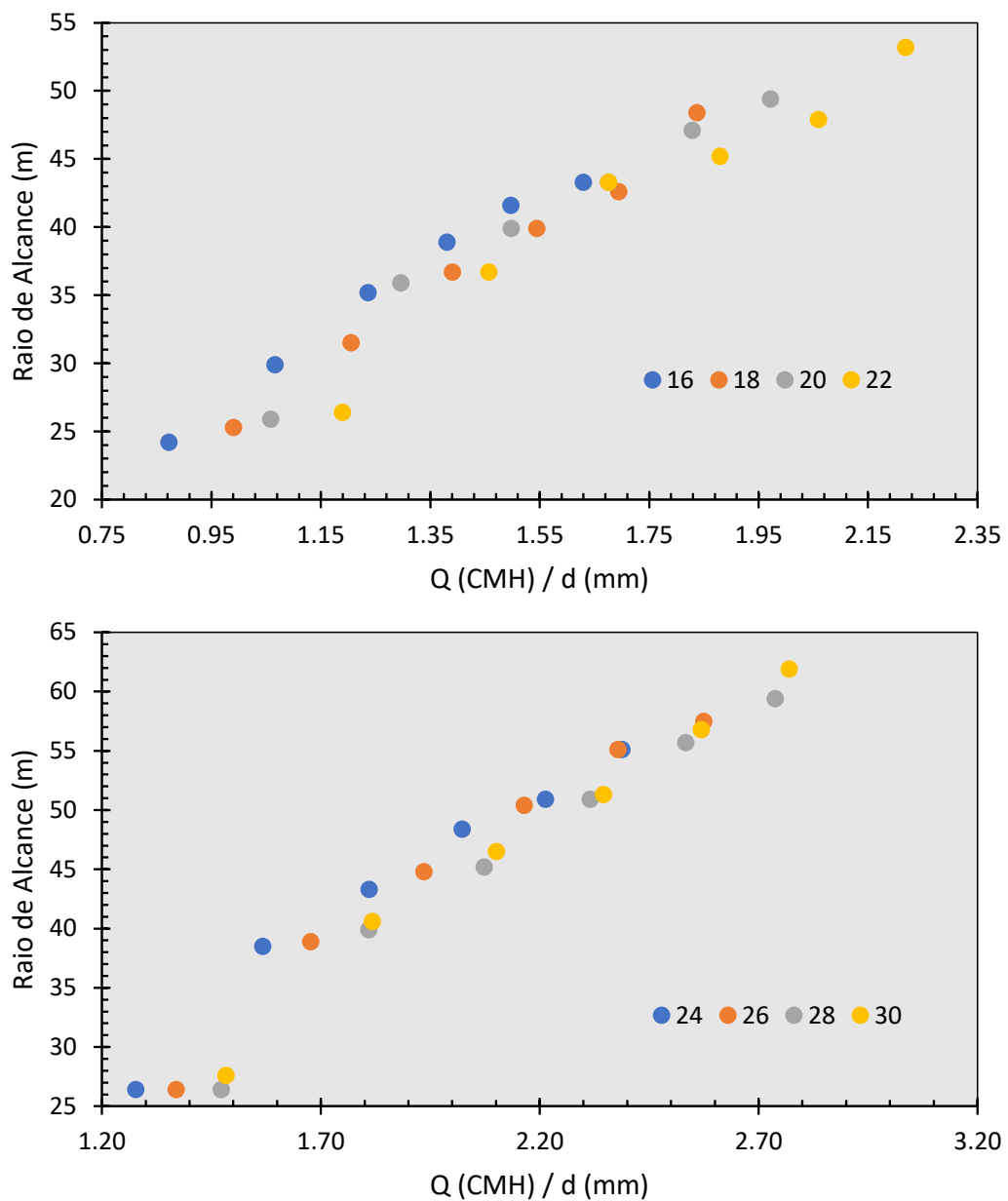
**Fig. 7.** Valores de coeficiente de descarga em função dos diâmetros dos bocais.



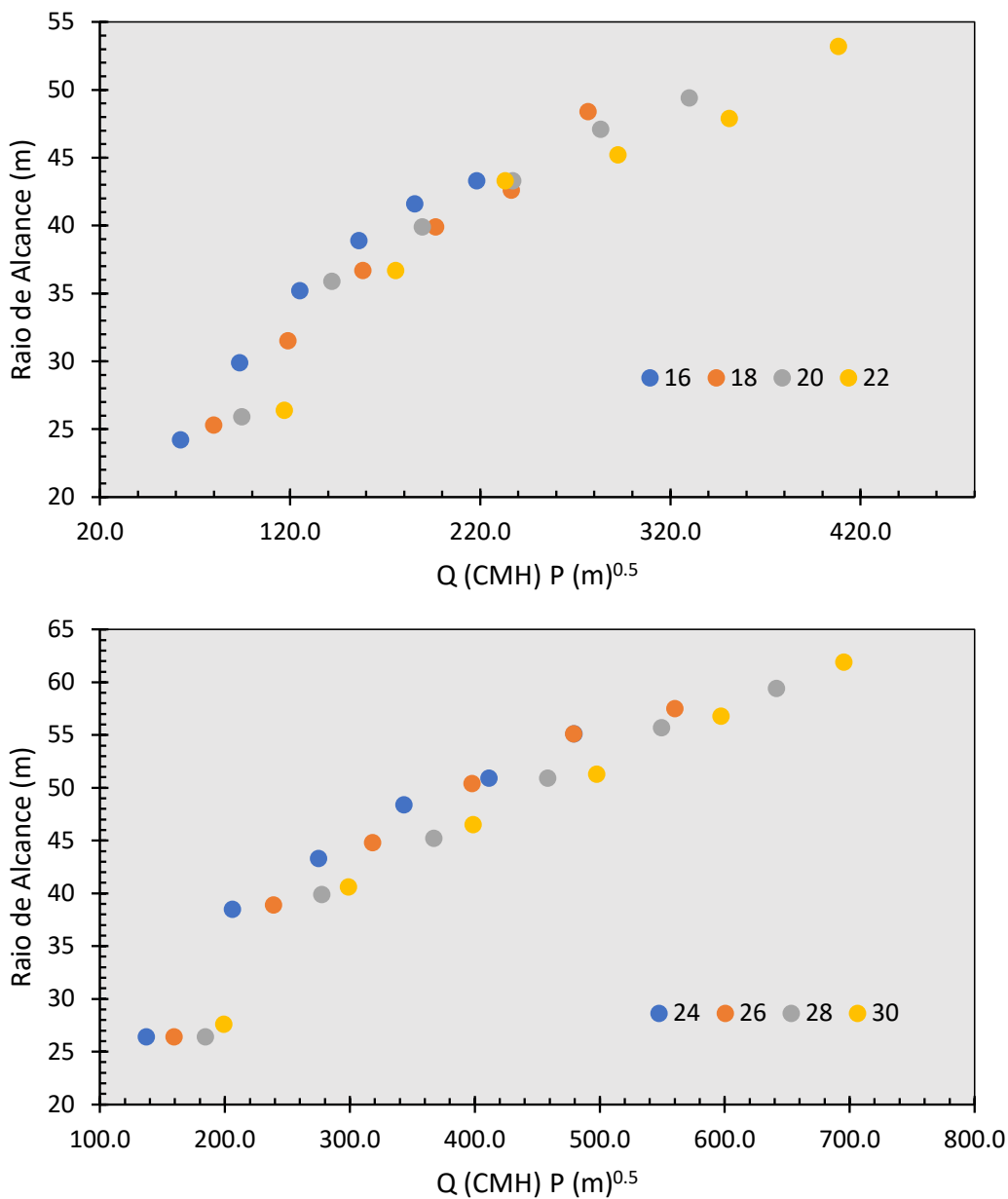
### 4.3. Relação do raio de alcance

Para avaliar a eficiência dos bocais nas diferentes cargas de pressão utilizadas, foi utilizada a metodologia descrita por Kincaid (1982), que relaciona o raio de alcance com a razão entre os valores de vazão e diâmetro do bocal e o raio de alcance com o produto dos valores de vazão e carga de pressão. Estes resultados são ilustrados nas Fig. 8 e 9.

**Fig. 8.** Relação do raio de alcance medido com a razão entre os valores de vazão e diâmetro do bocal. (Q vazão em metros cúbicos por hora – CMH; d diâmetro do bocal em mm)



**Fig. 9.** Relação do raio de alcance medido com com o produto dos valores de vazão e carga de pressão. (Q vazão em metros cúbicos por hora – CMH; P raiz da carga de pressão em m)



#### 4.4 Discussão Geral

Os resultados obtidos de vazão e raio de alcance (Tabelas 1 e 2) apresentaram valores que variaram entre e 13,9 e 92,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e 24,2 e 61,9m, respectivamente. Estes valores correspondem aos valores apresentados no catálogo técnico do fabricante dos

bocais. A empresa fabricante do aspersor adquire os bocais de outra empresa fabricante de aspersores e bocais.

Na Tabela 3 e Fig. 7, é possível observar que os valores de coeficiente de descarga variaram homogeneamente entre 0,97 a 0,88 para os bocais de 16 a 30mm. Vale ressaltar que houve uma queda do valor do coeficiente de descarga para o bocal de 20mm, em relação aos outros bocais. A diminuição do valor do coeficiente de descarga em função do aumento do diâmetro do bocal é comum, pois aumenta a diferença entre a vazão teórica e a vazão real (medida), conforme descrito por Porto (2006).

Nas Fig. 8 e 9, é possível notar que os bocais com diâmetros de 24, 26, 28 e 30mm apresentaram comportamento distinto dos outros bocais, em relação ao raio de alcance e vazão, para as pressões de como  $2 \text{ kgf cm}^{-2}$ . Esse mesmo comportamento foi relatado por Kincaid, D. C. (1982), estudar diferentes tipos de aspersores, de longo e médio alcance.

É possível observar que os valores apresentados nas Fig. 8 e 9 tendem a uma reta crescente. Esse mesmo comportamento foi explicado por Kincaid, D. C. (1982), que observou que no limite superior da faixa de vazão de cada aspersor, o raio tende a cair abaixo da curva geral. Isso se deve em grande parte a pressões mais altas que causam maior quebra do fluxo e gotas menores que tendem a limitar a distância percorrida. Um aspersor com um tubo de longo alcance tende a endireitar o fluxo e reduzir a turbulência e, assim, produzir raios maiores do que um aspersor com um tubo mais curto.

Essa curva (Fig. 8 e 9) é uma característica típica de aspersores, em que o aumento da pressão de serviço acarreta no incremento na vazão e no raio de alcance. É possível notar que este comportamento é constante ao longo das curvas, diferentemente ao ocorrido em canhões hidráulicos avaliados por Prado & Colombo (2005) – Plona RL 250; e Prado et al. (2013) – Komet Twin 140 Plus. Nota-se também, que o aumento do diâmetro de bocal influencia em maior percentual na vazão. Em estudos conduzidos por Jiang Y et al. (2016), a vazão e o raio de alcance do aspersor PY115 aumentou com incremento da pressão de serviço para todos os bocais testados.

## 5. CONCLUSÃO

A caracterização hidráulica do aspersor ED424s foi realizada obtendo-se os valores de vazão, raio de alcance e coeficiente de descarga. Estes valores correspondem aos valores apresentados no catálogo técnico do fabricante dos bocais, empresa diferente da fabricante do aspersor utilizado neste trabalho.

Os bocais com diâmetros de 24, 26, 28 e 30mm apresentaram baixa eficiência quando operados na pressão nominal de  $2 \text{ kgf cm}^{-2}$ , não sendo recomendada a sua utilização nessa faixa de pressão.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: UFV, 2011. 625 p.

ISO – International Organization for Standardization. ISO 8224-1: traveler irrigation machines: part 1: operational characteristics and laboratory and field test methods. Switzerland, 2004. 36p.

ISO – International Organization for Standardization. ISO 15886-3 – Agricultural irrigation equipment – sprinklers – part 3- Characterization os distribution and test methods, 2012.

JIANG Y, CHEN C, LI H, XIANG Q J. Influences of nozzle parameters and low-pressure on jet breakup and droplet characteristics. *Int J Agric & Biol Eng*, 2016; 9(4): 22-32.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

KINCAID, Dennis C. Sprinkler pattern radius. **Transactions of the ASAE**, v. 25, n. 6, p. 1668-1672, 1982.

PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica básica. 4ª edição. **São Carlos: EESC-USP, Projeto REENGE**, 2006.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Caracterização técnica do aspersor PLONA-RL300. *Irriga*, v.10, p.53-63, 2005.

PRADO, G. et al. Efeito do ângulo do jato nas características técnicas de um canhão hidráulico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, v. 17, n. 7, 2013.

SILVA, R. M. D., COELHO, R. D., FARIA, L. D. A., & MASCHIO, R. (2015). Coeficiente de descarga em emissores de pivô central. **Engenharia Agrícola**, 35, 419-429.

TARJUELO, J. M. El Riego por Aspersión y su Tecnología. 3 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 581p.

TEIXEIRA, T. H. B. Simulação da uniformidade de aplicação de água de um aspersor do tipo canhão hidráulico em diferentes condições de operação. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.