

CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DO ASPERSOR PLONA-RL300

Giuliani do Prado; Alberto Colombo

Departamento do Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras – MG, a6gp@cav.udesc.br

1 RESUMO

O trabalho teve como objetivo apresentar as características operacionais do aspersor, do tipo canhão hidráulico com mecanismo setorial de reversão lenta, da marca PLONA, modelo RL300, que foram determinadas no Setor de Hidráulica da Universidade Federal de Lavras, em Lavras - MG. Foram realizadas quarenta e cinco determinações de vazão, raio de alcance e perfil radial de distribuição de água, abrangendo nove diferentes diâmetros do bocal principal (22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36 e 38 mm) e cinco valores de pressões de serviço, variando deste 294 até 686 kPa, em intervalos de 98 kPa. Os valores de vazão (Q em $m^3 h^{-1}$) e raio de alcance (R em m) observados nos ensaios foram relacionados ao diâmetro do bocal principal (b em mm) e à pressão de serviço (P em kPa) através das equações: $Q = 0,00145 b^{2,189} P^{0,504}$ ($r^2 = 0,9963$) e $R = 0,553 b^{0,533} P^{0,436}$ ($r^2 = 0,9611$). Os perfis radiais de aplicação de água foram adimensionalizados e submetidos à análise de agrupamento (método “K-Means”) que indicou a ocorrência de perfis radiais com três formatos geométricos distintos e também caracterizou as condições operacionais do aspersor (bocal versus pressão), que determinam a ocorrência de cada umas das três formas geométricas distintas do perfil radial de aplicação de água.

UNITERMOS: aspersores, perfil radial de aplicação, teste de uniformidade.

PRADO, G.; COLOMBO, A.

TECHINAL CHARACTERIZATION OF THE SPRINKLER PLONA-RL300

2 ABSTRACT

This work aimed to present performance characteristics of the PLONA-RL300 slow reversion gun-type sprinkler that were evaluated at the Hydraulics Section of the Universidade Federal de Lavras, in Lavras - MG, Brazil. Sprinkler flow rate, reach radius and water distribution curve were evaluated at forty-five different combinations of sprinkler nozzle diameter (22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, and 38 mm) and operating pressure (from 294 kPa up to 686 kPa at regular 98 kPa intervals). Values of sprinkler flow rate (Q in $m^3 h^{-1}$) and sprinkler reach radius (R in m), observed at different combinations of nozzle size (b in mm) and operating pressure (P in kPa), were used to fit the following equations: $Q = 0.00145 b^{2.189} P^{0.504}$ ($r^2 = 0.9963$) and $R = 0.553 b^{0.533} P^{0.436}$ ($r^2 = 0.9611$). Water distribution curves were normalized and submitted to clustering analysis (K-Means algorithm). Based on the clustering analysis results, we were able to identify the occurrence of normalized distribution curves with three different geometric shapes and also to identify sprinkler operational conditions associated to each one of the three normalized distribution curve geometric shapes.

KEYWORDS: rotating sprinkler, water distribution curve, uniformity test

3 INTRODUÇÃO

Em um cenário onde a proteção ambiental e conservação dos recursos hídricos são enfatizadas e os custos da água e energia estão em ascensão, a uniformidade de aplicação de água é uma preocupação crescente para fabricantes de aspersores, projetistas e usuários de sistemas de irrigação (LOUIE & SELKER, 2000). A uniformidade de aplicação de água é fundamental para os sistemas de irrigação por aspersão proporcionarem eficiente uso da água (MATEOS, 1998). A desuniformidade na aplicação de água faz com que uma parcela da área irrigada receba um excesso de água, enquanto o restante da área é subirrigada. Desta forma, para assegurar que toda a área receba a lâmina de irrigação desejada, evitando-se o impacto negativo da subirrigação na produtividade da cultura irrigada, aplica-se água em excesso, que, por sua vez, acarreta desperdício de água, energia e nutrientes (CLEMMENS, 1991).

Na elaboração de um projeto de irrigação por aspersão, uma boa uniformidade de aplicação de água só é assegurada quando são conhecidas as características de distribuição de água dos aspersores. Seginer et al. (1992) e Vilas Boas et al. (2000) enfatizam que a mensuração do perfil de distribuição de água de um aspersor é requerida para a pesquisa, desenvolvimento de protótipos de aspersores, controle da qualidade de fabricação e avaliação dos aspersores por parte do consumidor. Martín-Benito et al. (1992) afirmam que 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 combinações de bocais 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.

As características de distribuição de água dos aspersores dependem do modelo de aspersor, das suas condições operacionais (altura de instalação, diâmetro do bocal, pressão de serviço e ângulo de giro) e das condições climáticas durante sua operação (KELLER & BLIESNER, 1990). O procedimento para determinação do perfil radial de distribuição de água de aspersores rotativos (International Organization for Standardization, 1990 e American Society of Agricultural Engineers, 1987) é moroso e bastante trabalhoso, sendo o grau destas dificuldades aumentado pelo incremento no raio molhado do aspersor.

Em virtude da dificuldade de determinar as características de distribuição de água de um aspersor, é importante apresentá-las de forma a permitir uma adequada estimativa da operação desse aspersor em condições intermediárias àquelas observadas durante os ensaios. Essas interpolações possibilitam simular, em computador, variações na distribuição de água dos aspersores em função de alterações nas condições climáticas, do desgaste dos bocais ou de alterações na pressão de serviço dos aspersores, induzidas por perda de carga e por variações topográficas do terreno. Desta forma, a partir de um limitado número de ensaios de aspersores, podemos gerar os dados de entrada requeridos por aplicativos computacionais, que simulam a distribuição de água tanto de sistemas de irrigação por aspersão convencional (ALLEN, 1992, OLIPHANT, 1993), como autopropelido (ROCHESTER, 1983 e COLOMBO, 1991) e pivô central (JOHNSON et al., 1987 e OMARY & SUMNER, 2001).

Louie & Selker (2000) referem-se a um procedimento de interpolação do perfil radial de aplicação de água, no qual os pares de valores de distância ao aspersor e intensidade de precipitação são multiplicados pela razão entre a vazão do aspersor na condição a ser interpolada e a vazão na condição na qual o perfil foi determinado. Solomon & Bezdek (1980) e Martín-Benito et al. (1992) utilizaram um procedimento de interpolação baseado nos diferentes formatos geométricos típicos assumidos pelo perfil radial de aplicação de água, em função de diferentes combinações de bocais e pressão. Interpolações do perfil radial de distribuição de água envolvendo variações nas condições climáticas também são disponíveis, destacando-se, nessa área, os trabalhos de Vories et al. (1987), Mateos (1998), Seginer et al. (1991) e Carrión et al. (2001).

Devido à dificuldade de ensaiar aspersores de grande porte (canhões hidráulicos), a maior parte do reduzido número dos perfis radiais de aplicação de água disponíveis na literatura é de aspersores de pequeno porte. Trabalhos de caracterização técnica de canhões hidráulicos (SOLOMON & BEZDEK, 1980 e COLOMBO et al., 1996) são raros e, em alguns casos, abrangem modelos de aspersores que não são mais disponíveis no mercado, a exemplo do trabalho de Colombo et al. (1996) com o aspersor MEC-21.

Tendo em vista a limitada disponibilidade de perfis radiais de aspersor de grande porte, buscou-se, neste trabalho, determinar a vazão, o raio de alcance e o perfil radial de distribuição do aspersor PLONA modelo RL300, operando com diferentes diâmetros de anel e pressões de serviço, de forma a fornecer os subsídios necessários para simulações da uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação que utilizam aspersores rotativos de grande porte.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, em Lavras - MG, onde foram levantadas as características técnicas do aspersor do tipo canhão hidráulico com mecanismo setorial de reversão lenta, da marca PLONA, modelo RL300. Este aspersor apresenta ângulo de inclinação do jato de água de 24° e é dotado de dois bocais, um principal, com 9 diâmetros de anel distintos (22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36 e 38 mm) e um bocal auxiliar, com 6 mm de diâmetro.

A bancada utilizada para o ensaio do aspersor (Figura 1) é constituída de: a) fonte de captação de água; b) conjunto motobomba; c) tubulação de aço dotada de registros de gaveta e medidor de vazão hidromagnético; d) manômetro digital instalado na base do aspersor; e) campânula para abrigar o aspersor, com raio de 1,5 m e abertura de 5° ; f) linha de coletores dispostos em espaçamento variável, menor que 1 m, que se estende até uma distância de 70 metros do centro da campânula, composta de 110 coletores com área de captação de formato retangular, apresentando largura fixa de 20 cm e comprimento variável com a distância ao centro da campânula, de modo a satisfazer um ângulo 1° e $50'$.

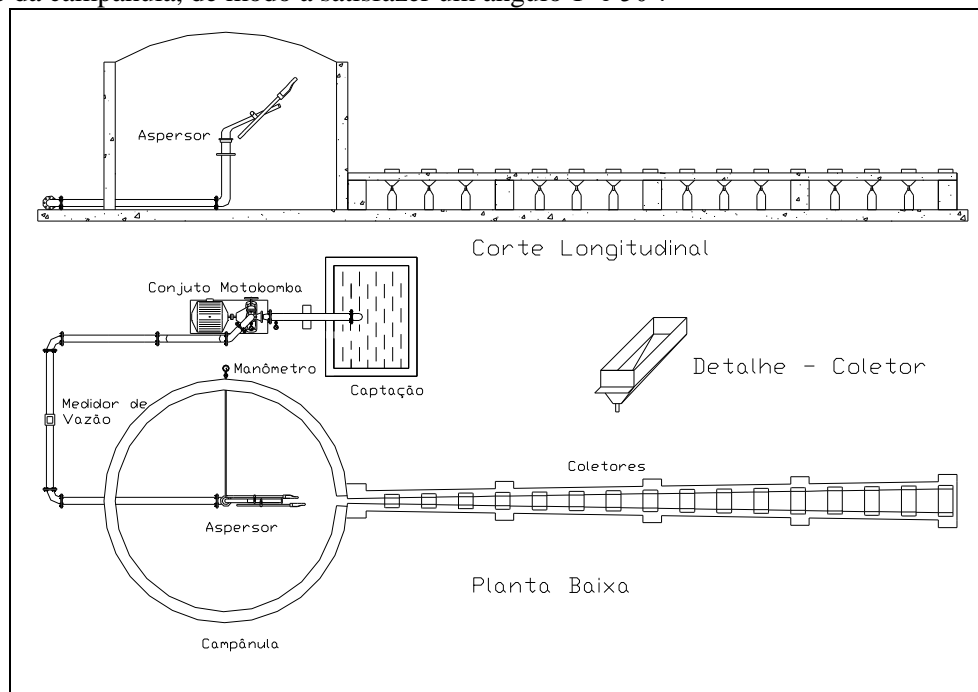


Figura 1. Desenho esquemático da bancada utilizada para os ensaios do aspersor PLONA modelo RL300.

O aspersor foi instalado mantendo-se distância vertical de 0,8 m entre o centro do bocal principal e o plano da área de captação dos coletores, que se encontrava a 0,4 m da superfície do piso. Os ensaios foram realizados em condição de ausência de vento (velocidade do vento menor que $0,9 \text{ m s}^{-1}$), sendo esta condição monitorada a cada cinco minutos, pelo deslocamento acumulado registrado por um anemômetro totalizador de canecas, instalado a 2 m acima da superfície do piso.

Foram realizados quarenta e cinco ensaios envolvendo os nove diâmetros de anéis disponíveis e cinco valores de pressão de serviço, regularmente espaçados de 98 kPa, ao longo do intervalo entre 294 e 686 kPa. Fixada a pressão de serviço do aspersor, iniciava-se o giro do mesmo no interior da campânula, monitorando-se, a cada 10 minutos, a vazão e a pressão de serviço do aspersor. Considerando que o tempo de coleta pode ser reduzido, quando se trabalha com coletores que possuem áreas de captação maiores (FISCHER & WALLENDER, 1988), contrapondo-se à norma ISO 7749-2 (International Organization for Standardization, 1990), que estabelece o tempo de 1 hora, encerrava-se a aplicação de água ao final de 40 minutos, e iniciava-se o registro dos volumes de água precipitados em cada coletor para determinação do raio de alcance do aspersor e do perfil radial de distribuição de água.

Seguindo sugestão de Seginer et al. (1992), Li (1996) e Molle & Gat (2000), em cada ensaio a vazão do aspersor determinada pelo hidrômetro foi comparada com a vazão do perfil radial, QP_α ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$), que era estimada, numericamente, com base na seguinte equação:

$$QP_\alpha = 2\pi \int_0^{R_\alpha} i_{r,\alpha} r \, dr \quad (1)$$

na qual, $i_{r,\alpha}$ é a intensidade de precipitação (m h^{-1}) na distância r em relação ao aspersor (m), R_α o raio de alcance do aspersor (m), que corresponde a distância ao coletor mais próximo do aspersor, onde $i_r = 0$ e α correspondente ao índice que identifica cada um dos ensaios ($45 \geq \alpha \geq 1$).

Nos casos em que a diferença entre os dois valores de vazões excedeu 10% do valor medido com o hidrômetro, os ensaios foram repetidos até se chegar a uma diferença menor que 10%.

Seguindo metodologia de Solomon & Bezdek (1980), os quarenta e cinco perfis radiais de distribuição de água foram adimensionalizados, expressando-se as distâncias ao aspersor em termos da fração do raio de alcance, a partir da equação 2, e os valores de intensidade de precipitação em termos da fração da intensidade média de aplicação de água, com base na equação 3:

$$ra_{i,\alpha} = \frac{r_{i,\alpha}}{R_\alpha} \quad (2)$$

$$ia_{i,\alpha} = \frac{i_{i,\alpha} \pi R_\alpha}{QP_\alpha} = \frac{i_{i,\alpha}}{im_\alpha} \quad (3)$$

na qual, $ra_{i,\alpha}$ é a fração do raio de alcance do aspersor (adimensional), $r_{i,\alpha}$ a distância do coletor i ao aspersor (m), $ia_{i,\alpha}$ a fração da intensidade média de aplicação de água (adimensional) e im_α a intensidade média de aplicação de água (m h^{-1}).

Posteriormente, as informações contidas em cada perfil adimensional foram utilizadas para construir quarenta e cinco novos perfis contendo apenas os vinte valores de intensidade de aplicação de água ($ia_{j,\alpha}$), correspondentes às distâncias adimensionais dadas por:

$$ra_j = 0,025 + (j-1)0,05 \quad \text{com } 20 \geq j \geq 1. \quad (4)$$

Na determinação destas intensidades adimensionais, utilizou-se um processo de interpolação dos valores originalmente observados e, ao final do processo de interpolação, os valores interpolados foram corrigidos proporcionalmente de forma a se obter:

$$\frac{0,05}{20} \sum_{j=1}^{j=20} [(2j-1)ia_{j,\alpha}] = 1,0 \quad (5)$$

A condição imposta pela equação 5 assegura que a vazão estimada com base no perfil radial de aplicação de água (QP_{α}) seja igual à vazão do aspersor.

Para identificar as possíveis formas geométricas típicas assumidas pelos perfis adimensionais, os quarenta e cinco perfis foram submetidos à análise de agrupamento através do algoritmo de agrupamento “K-Means” (TOU & GONZALES, 1974). Para tanto, foi escrito um programa em linguagem *Basic*, que, para valores crescentes do número K de formas geométricas típicas a serem consideradas (K = 1, 2...até K = 45), executa o seguinte procedimento:

- (i) para cada um dos K perfis típicos considerados, atribui-se vinte valores de intensidade de precipitação adimensional, $T_{j,g}$, que são iguais aos valores dos primeiros K perfis, isto é, $T_{j,g} = ia_{j,\alpha}$ com $20 \geq j \geq 1$ e $K \geq \alpha \geq 1$;
- (ii) para cada um dos 45 perfis, são computadas as somas dos quadrados dos desvios, $SQ_{\alpha,g}$, em relação a cada um dos K perfis típicos, isto é, $SQ_{\alpha,g} = \sum (ia_{j,\alpha} - T_{j,g})^2$ com $j = 1, 2...até 20$, $\alpha = 1, 2...até 45$ e $g = 1, 2...até K$;
- (iii) os 45 perfis são distribuídos em K grupos distintos, sendo o agrupamento, ao qual um dado perfil α pertence, identificado pelo índice g do menor $SQ_{\alpha,g}$;
- (iv) para cada um dos K perfis típicos considerados, é feita nova estimativa dos valores de intensidade de precipitação adimensional considerado que, para um dado índice j, o valor da nova estimativa, $N_{j,g}$, é a média dos valores de $ia_{j,\alpha}$ observados nos perfis de um mesmo agrupamento g;
- (v) são computadas K somas de desvios, S_g , entre os perfil típicos considerados nas etapas ii e iv, isto é $S_g = \sum (N_{j,g} - T_{j,g})$ com $g = 1, 2...até K$ e $j = 1, 2...até 20$;
- (vi) no caso em que $S_1 = S_2 = \dots = S_K = 0$, o procedimento avança para a etapa vii e, em caso contrário, os valores de $N_{j,g}$ são passados para $T_{j,g}$ e o procedimento retorna para a etapa ii;
- (vii) o erro médio (E_k) na estimativa da intensidade de precipitação adimensional, referente a um número K de perfis típicos, é calculado por:

$$E_K = \sqrt{\frac{\sum_{\beta=1}^{45} \text{Min}(SQ_{\beta,1}, SQ_{\beta,2} \dots SQ_{\beta,K})}{20 \cdot 45}} \quad (6)$$

na qual, $\text{Min}(\lambda_{\beta,1}, \lambda_{\beta,2} \dots \lambda_{\beta,K})$ representa a função matemática que retorna ao valor mínimo de $(\lambda_{\beta,1}, \lambda_{\beta,2} \dots \lambda_{\beta,K})$.

Seguindo também a metodologia proposta por Solomon & Bezdek (1980), os valores de vazão do hidrômetro e raio de alcance do aspersor, observados com diferentes combinações de diâmetro do bocal principal e pressão de serviço do aspersor, foram ajustados por meio das equações 7 e 8.

$$Q = C_1 b^x P^y \quad (7)$$

$$R = C_2 b^m P^n \quad (8)$$

na qual, b é o diâmetro do bocal principal (mm), P a pressão de serviço do aspersor (kPa), C_1 , C_2 , x, y, m e n coeficientes de ajuste de cada equação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, apresenta-se a variação do erro médio (E_k) na estimativa da intensidade de precipitação adimensional ($ia_{j,\alpha}$), em função do número K de perfis típicos considerados. Nota-

se que quando os perfis observados são agrupados em torno de três perfis típicos ($K = 3$), o erro médio na intensidade adimensional de precipitação é 0,147 e que, a partir deste ponto, o aumento no número de perfis típicos, K , causa uma redução gradual no erro médio, justificando-se, portanto, a adoção de apenas três perfis típicos.

O erro médio observado neste trabalho é pouco superior ao encontrado por Colombo et al. (1996), que obtiveram erro médio igual a 0,119 ao utilizar 2 perfis típicos para representar 18 perfis adimensionais, e, também, superior ao valor de 0,116, encontrado por Solomon & Bezdek (1980), ao agruparem 42 perfis adimensionais em 3 perfis típicos. Para as diferentes combinações de bocais e pressão de serviço do aspersor PLONA-RL300, que resultam em valores de intensidade média de aplicação de água entre 4 e 11 mm h⁻¹, o erro médio obtido tem um valor dimensional que varia entre 0,6 e 1,6 mm h⁻¹.

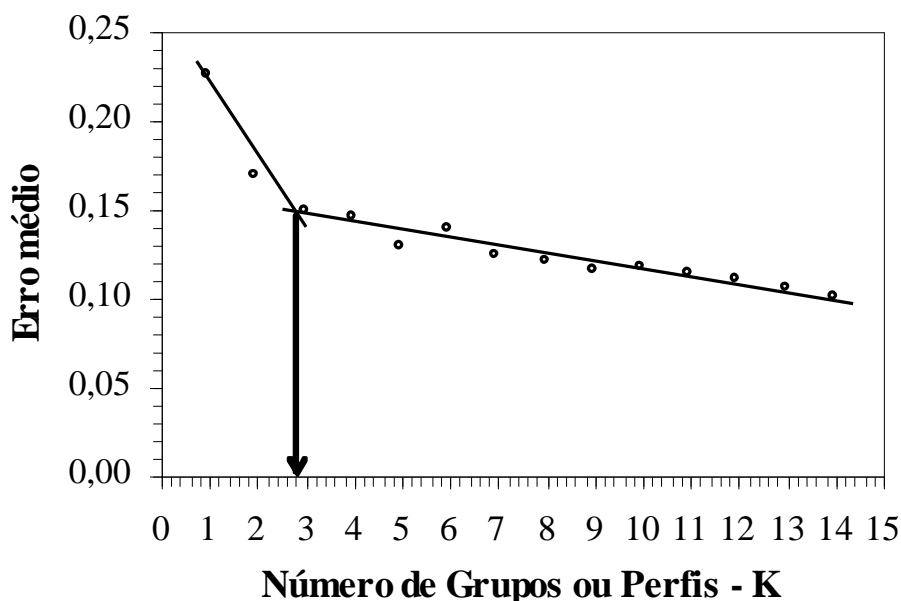


Figura 2. Variação do erro médio (E_K) na estimativa da intensidade adimensional ($ia_{j,\alpha}$) da aplicação de água em função do número (K) de perfis típicos adotados.

Na Figura 3 são apresentadas as três formas geométricas típicas assumidas pelos 45 perfis adimensionais levantados. Nas curvas apresentadas, as barras verticais delimitam vinte faixas de variação com comprimento equivalente a ± 1 desvio-padrão de cada agrupamento. No Quadro 1 são apresentados os valores numéricos dos vinte pares adimensionais de distância e intensidade de aplicação de água (ra_j , ia_j), característicos dos perfis I, II e III mostrados na Figura 3. No Quadro 2, apresentam-se as condições operacionais (bocal versus pressão de serviço) que determinam a ocorrência de cada um dos três perfis típicos.

Observa-se no Quadro 2, que o perfil típico I ocorre com maior frequência quando os menores bocais (22 x 6 e 24 x 6 mm) são utilizados e que a ocorrência dos perfis típicos II e III é limitada a bocais maiores que 24 x 6 mm. Para os bocais maiores que 24 x 6 mm, o perfil II está associado às menores pressões de serviço, enquanto o perfil III está associado às maiores pressões de serviço.

Duas exceções ao comportamento geral, descrito anteriormente, são encontradas no Quadro 2: a ocorrência do perfil III com bocais de 22 x 6 mm na pressão de 294 kPa e a ocorrência do perfil I com bocais de 28 x 6 mm na pressão de 686 kPa. Seguindo recomendações de Solomon & Bezdek (1980) foram assinaladas sugestões para estes dois casos

(Quadro 2), que levam em consideração o conjunto dos resultados e não apenas os resultados individuais.

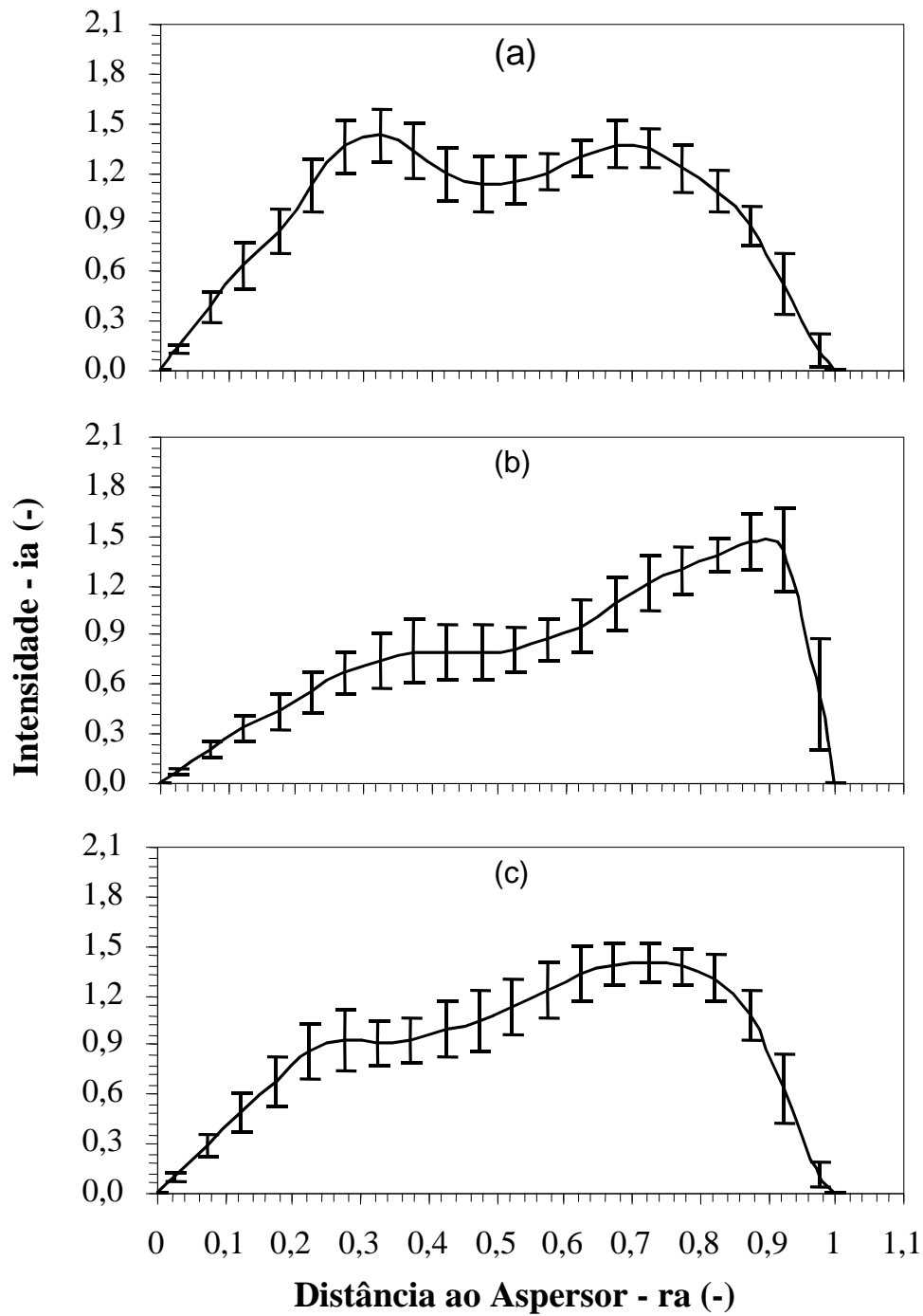


Figura 3. Representação dos perfis adimensionais I (a), II (b) e III (c) do aspensor PLONA-RL300.

Analisando a forma dos três perfis típicos, verifica-se que o perfil II (Figura 3b) é característico de um perfil “doughnut”, derivado de condições operacionais com baixa pressão de serviço, o que é confirmado no Quadro 2, que limita sua ocorrência às condições operacionais de baixa pressão de serviço. Já o formato irregular dos perfis I e III (Figura 3a e 3c) difere dos perfis clássicos (triangular, elíptico ou doughnut) descritos por Kincaid (1991) e Keller & Bliesner (1990).

Quadro 1. Fração da intensidade média de aplicação de água ($ia_{j,\alpha}$) em função da fração (ra_j) do raio de alcance para os três perfis típicos do aspersor PLONA-RL300.

ra_j	0,025	0,075	0,125	0,175	0,225	0,275	0,325	0,375	0,425	0,475
I	0,128	0,383	0,632	0,841	1,118	1,353	1,423	1,324	1,186	1,126
II	0,067	0,202	0,331	0,430	0,552	0,664	0,735	0,793	0,794	0,782
III	0,098	0,293	0,488	0,679	0,855	0,924	0,912	0,927	0,989	1,041
ra_j	0,525	0,575	0,625	0,675	0,725	0,775	0,825	0,875	0,925	0,975
I	1,148	1,196	1,286	1,369	1,345	1,224	1,083	0,870	0,525	0,116
II	0,804	0,869	0,947	1,089	1,210	1,289	1,375	1,466	1,411	0,535
III	1,122	1,226	1,324	1,384	1,420	1,374	1,299	1,072	0,638	0,107

Quadro 2. Ocorrência dos perfis adimensionais típicos (I, II ou III) em função das condições operacionais do aspersor PLONA-RL300.

Pressão (kPa)	Diâmetro dos Bocais (mm)								
	22 x 6	24 x 6	26 x 6	28 x 6	30 x 6	32 x 6	34 x 6	36 x 6	38 x 6
294	III*	II	II	II	II	II	II	II	II
392	I	I	III	III	III	III	II	II	II
490	I	I	III	III	III	III	II	III	II
588	I	I	III	III	III	III	III	III	III
686	I	III	III	I**	III	III	III	III	III

(*) Recomenda-se utilizar o perfil I, (**) recomenda-se utilizar o perfil III.

Nas Figuras 4 e 5, apresentam-se as representações gráficas e as equações geradas a partir dos valores medidos de vazão e raio de alcance. Os coeficientes de determinação obtidos no ajuste da vazão ($r^2 = 0,9963$) e do raio ($r^2 = 0,9611$) indicam boa adequação ao modelo proposto. Com base nestas equações, e seguindo as orientações dos Quadros 1 e 2, os perfis adimensionais podem ser convertidos na sua forma dimensional para reproduzir as características de distribuição de água do aspersor PLONA-RL300, operando em diferentes combinações de diâmetro de bocal e pressão de serviço desejada.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram a adequação da metodologia de análise proposta por Solomon & Bezdek (1980), tanto no que diz respeito ao modelo matemático utilizado para as equações de vazão e raio de alcance, quanto ao poder de síntese da análise de agrupamento dos perfis adimensionais. Desta forma, uma equação para a vazão, uma para o raio de alcance e três perfis representativos é suficiente para representar as características técnicas deste aspersor, trabalhando em diferentes condições operacionais de bocal e pressão de serviço. Além do poder de síntese dos perfis adimensionais, deve-se ressaltar também a sua aplicabilidade na simulação da performance do aspersor em condições operacionais intermediárias às aquelas observadas nos ensaios de laboratório, visto que os perfis representativos tendem a adequar-se a determinadas condições operacionais específicas.

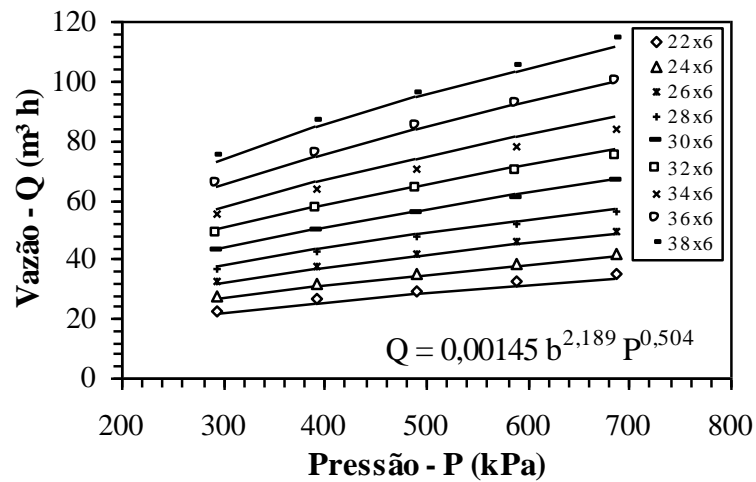


Figura 4. Representação das curvas de vazão, geradas em função da pressão de serviço e diâmetro do bocal principal.

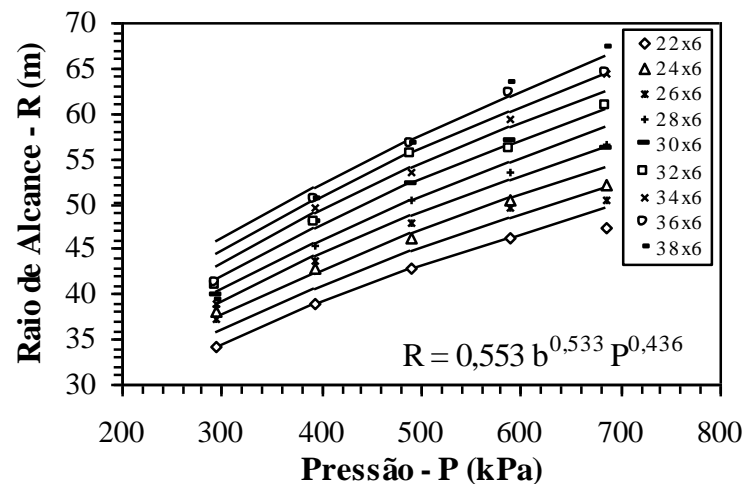


Figura 5. Representação das curvas de raio de alcance, geradas em função da pressão de serviço e diâmetro do bocal principal.

7 AGRADECIMENTOS

A empresa de PLONA Equipamentos de Curitiba-PR por disponibilizar o aspersor RL300 para realização dos ensaios técnicos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. **Catch-3D sprinkler pattern analysis software: user's manual**. Logan, Utah: Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University, 1992. 14 p.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standard S330.1: procedure for sprinkler distribution testing research purposes**. St. Joseph, 1987. p.487-489.
- CARRIÓN, P. et al. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation. I Description of model. **Irrigation Science**, New York, v. 20, n. 2, p.73-84, June 2001.

- CLEMMENS, A. J. Irrigation uniformity relationships form irrigation system management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.117, n.5, p.682-699, Sept./Oct. 1991.
- COLOMBO, A. **Simulação do desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido de irrigação**. 1991. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação de Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- COLOMBO, A.; YAMAGI JÚNIOR, T.; GRIMARÃES, K. H. Perfis adimensionais de distribuição de água de aspersores e sua utilização em estudos de equipamentos autopropelidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., CONGRESSO LATINO AMERICANO INGENIERIA AGRÍCOLA, 2., 1996, Bauru. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 1996. p. 226.
- 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. 2, p. 538-542, Mar./Apr. 1988.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7749-2**: irrigation equipment: rotating sprinklers - Part 2: Uniformity of distribution and test methods. Switzerland, 1990. 6 p.
- JOHNSON, G. C. et al. Analysis of center pivot irrigation operating in a humid-area environment. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.6, p.1720-1725, 1987.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.
- KINCAID, D. C. Impact sprinkler pattern modification. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 6, p. 2397-2402, 1991.
- LI, J. Sprinkler performance as function of nozzle geometrical parameters. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 4, p. 244-247, July/Aug. 1996.
- LOUIE, M.; SELKER, J. S. Sprinkler head maintenance effects on water application uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 126, n. 3, p. 142-148, May/June 2000.
- MARTÍN-BENITO, J. M. T.; GÓMEZ, M. V.; PARDO, J. L. Working conditions of sprinkler to optimize application of water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, n. 6, p. 895-913, Nov./Dec. 1992.
- MATEOS, L. Assessing whole-field uniformity of stationary sprinkler irrigation systems. **Irrigation Science**, New York, v. 18, n. 2, p. 73-81, May 1998.
- MOLLE, B.; GAT, Y. L. Model of water applications under pivot sprinkler. II Calibration and results. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 126, n. 6, p. 348-354, Nov./Dec. 2000.
- OLIPHANT, J. C. **SPACE for Windows**: software update. California: Center for Irrigation Technology, California State University at Fresno. 1993. 4 p.
- OMARY, M.; SUMNER, H. Water distribution for irrigation machine with small spray nozzles. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 127, n. 3, p. 156-160, May/June 2001.
- ROCHESTER, E. W. Initial delay requirements in traveler irrigation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 1, p. 137-140, Jan./Feb. 1983.
- SEGINER, I.; NIR, D.; BERNUTH, R. D. von. Simulation of wind-distorted sprinkler patterns. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.117, n.2, p.285-306, Mar./Apr. 1991.
- SEGINER, I.; KANTZ, D.; NIR, D.; BERNUTH, R. D. von. Indoor measurement of single-radius sprinkler patterns. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 2, p. 523-533, Mar./Apr. 1992.
- SOLOMON, K.; BEZDEK, J. C. Characterizing sprinkler distribution patterns with a clustering algorithm. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 4, p. 899-906, July/Aug. 1980.

TOU, J. T.; GONZALES, R. C. **Pattern recognition principles**. London: Addison-Wesley, 1974. 377 p.

VILAS BOAS, M. A. et al. Comparação entre métodos de amostragem “indoors” para avaliação da distribuição espacial de água de aspersores rotativos. **Irriga**, Botucatu, v.5, n.2, p.99-111, 2000.

VORIES, E. D.; ASCE, S. M.; BERNUTH, R. D. von. Simulating sprinkler performance in wind. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 113, n. 1, p. 119-130, Feb. 1987.