

COMPOSIÇÃO DE PERFIS RADIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE ASPERSORES

Giuliani do Prado; Alberto Colombo

Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, giulianip@bol.com.br

1 RESUMO

Este trabalho descreve um procedimento de composição do perfil radial de aspersores que operam com dois bocais. Foram determinados na bancada de ensaios de aspersores da Universidade Federal de Lavras, em Lavras/MG, os valores de vazão e perfil radial do aspersor PLONA-RL250 operando, individualmente, com os bocais principais 14 e 28 mm e com os bocais auxiliares 5, 6 e 7 mm, e operando, nas diferentes seis combinações de bocal auxiliar e principal do aspersor, sob cinco pressões de serviço (292, 392, 490, 588 e 696 kPa). No processo de composição do perfil radial realizado, ajustando a vazão dos bocais auxiliar e principal, operando individualmente, a vazão do aspersor operando com o conjunto de bocais auxiliar e principal, verificou-se um coeficiente de determinação médio de 88,57% entre as intensidades de precipitação adimensionais dos perfis radiais compostos com os perfis radiais do conjunto. Na relação linear, ajustada, entre os valores de uniformidade de equipamentos autopropelidos de irrigação, obtidos com os perfis radiais compostos e do conjunto, a inclinação da reta foi igual a 44° 12' com um erro relativo médio de 2,34%. Estes resultados mostram que o procedimento de composição do perfil radial de aspersores não influencia, de maneira significativa, na uniformidade de aplicação de água de aspersores.

UNITERMOS: bocais do aspersor, vazão do aspersor, uniformidade de irrigação.

PRADO, G. DO; COLOMBO, A. SPRINKLER WATER DISTRIBUTION COMPOSITIONS

2 ABSTRACT

This paper described a procedure to compose a sprinkler pattern for a sprinkler that operates with two nozzles. To compose the pattern, discharge values and patterns of the PLONA-RL250 sprinkler were determined at the sprinkler test bench of the Universidade Federal de Lavras, in Lavras/MG. The tests were conducted with all possible combinations using 14mm and 28 mm main nozzles and the 5, 6 and 7 mm auxiliary nozzles as well as with each nozzle functioning individually. Five working pressures (294, 392, 490, 588 and 686 kPa) were used for each nozzle configuration. In the pattern composition process, by adjusting the main and auxiliary nozzle discharges operating individually, and by adjusting the sprinkler discharge operating with the corresponding pair of main and auxiliary nozzles, it was verified that the average determination coefficient was 88.57% between the dimensionless water application rate of the composed and pair patterns. In the adjusted linear relation, between the uniformity values of a travel irrigation machine obtained from the composed and pair patterns, the inclination was 44° 12' with an average relative error of

2.34%. These results show that the procedure to compose a sprinkler pattern for sprinklers does not influence significantly the water application uniformity of sprinklers.

KEY WORDS: sprinkler nozzles, sprinkler flow rate, irrigation uniformity

3 INTRODUÇÃO

Os modelos de simulação da uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão apresentam importante papel no auxílio à tomada de decisões em projetos de irrigação, na avaliação do sistema de irrigação e no desenvolvimento de novos aspersores. Segundo Yanagi Júnior et al. (1995) e Rolim & Pereira (2005), o uso de simulações digitais em computadores, para efetuar o dimensionamento e a análise da disposição do sistema de irrigação por aspersão, torna-se uma ferramenta extremamente útil devido à agilização, precisão e segurança dos resultados obtidos.

A análise das melhores disposições e operação dos aspersores no campo, através de modelos de simulação da distribuição espacial de água, é efetuada a partir dos perfis estacionários de distribuição de água dos aspersores, operando nas mesmas condições que serão atingidas por ocasião de sua instalação nos sistemas de irrigação (Vories et al, 1987; Carrión et al., 2001). Desta forma, o perfil radial de distribuição de água de aspersores, determinado em instalações apropriadas, em função das diferentes combinações de pressão de serviço e diâmetro de bocais, é utilizado para simular a distribuição de água de sistemas convencionais de aspersão (Allen, 1992) e de sistemas mecanizados, como pivô central (Gat & Molle, 2000) e autopropelido (Prado 2004).

A existência de inúmeras possibilidades de combinações de pressão de serviço e diâmetro de bocais, e a dificuldade para realização de ensaios de distribuição de água, principalmente, quando os ensaios são de aspersores de grande porte (canhões hidráulicos), leva as empresas fabricantes de aspersores a não disponibilizarem, ou apresentarem de forma inadequada, as características técnicas de distribuição de água de seus aspersores. Existem procedimentos normalizados para estas determinações (International Organization for Standardization, 1990 e American Society of Agricultural Engineers, 1987), entretanto, o alto custo na construção de bancadas de ensaio que atendam às normas técnicas, e as dificuldades na realização desses ensaios, faz com que os catálogos técnicos apresentem somente dados de vazão e raio de alcance (Prado & Colombo, 2005a). Desta maneira, é preciso trabalhar com técnicas de modo a reduzir o número de ensaios (Prado & Colombo, 2005b) e determinar esses valores diretamente em condições reais de campo (Newell et al., 2003).

De acordo com Keller & Bliesner (1990) e Bernardo et al. (2005), a forma geométrica do perfil radial de distribuição de água de um aspersor sofre alteração em função do tipo de bocal, pressão de serviço, uso de braço defletor ou uso de múltiplos bocais. Conforme Kincaid (1991), o uso de aspersores com braço defletor, ou aspersores operando com múltiplos bocais, são técnicas utilizadas para encontrar a forma geométrica mais adequada do perfil radial de distribuição de água do aspersor e, com isto, maximizar a uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação. Dessa forma, segundo o mesmo autor, é possível operar o sistema de irrigação com pressões de serviço menores, sem alterar o espaçamento dos aspersores e reduzir os custos de energia.

De modo a oferecer um procedimento mais ágil e menos trabalhoso para determinação do perfil radial de distribuição de água de aspersores rotativos, que operam com dois bocais, e visando à seleção da melhor combinação de bocais do aspersor, este trabalho tem por

objetivo: apresentar uma metodologia de composição do perfil radial de distribuição de água do aspersor operando com dois bocais (bocal principal + bocal auxiliar), através do ensaio individual de cada bocal.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Ensaios de distribuição de água

O trabalho foi desenvolvido com o aspersor da marca PLONA®, modelo RL250. Esse aspersor é um canhão hidráulico setorial de reversão lenta, com ângulo de lançamento do jato d'água de 24° e giro proporcionado pelo impacto de um de seus dois braços oscilantes. De acordo com as especificações técnicas de catálogo, o aspersor apresenta um flange de acoplamento de $2\frac{1}{2}$ " e é constituído por um bocal principal, tipo cônico de latão, com oito diâmetros distintos (14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 e 28 mm) e por um bocal auxiliar, tipo cônico de plástico, com três diâmetros distintos (5, 6 e 7 mm).

Os ensaios para determinação das características técnicas do aspersor (vazão, raio de alcance e perfil radial de distribuição de água) foram realizados sob condições de vento inferiores a $0,9\text{ m s}^{-1}$, na bancada de ensaios do Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Lavras, em Lavras/MG, esquematizada na Figura 1, seguindo metodologia descrita por Prado & Colombo (2005a).

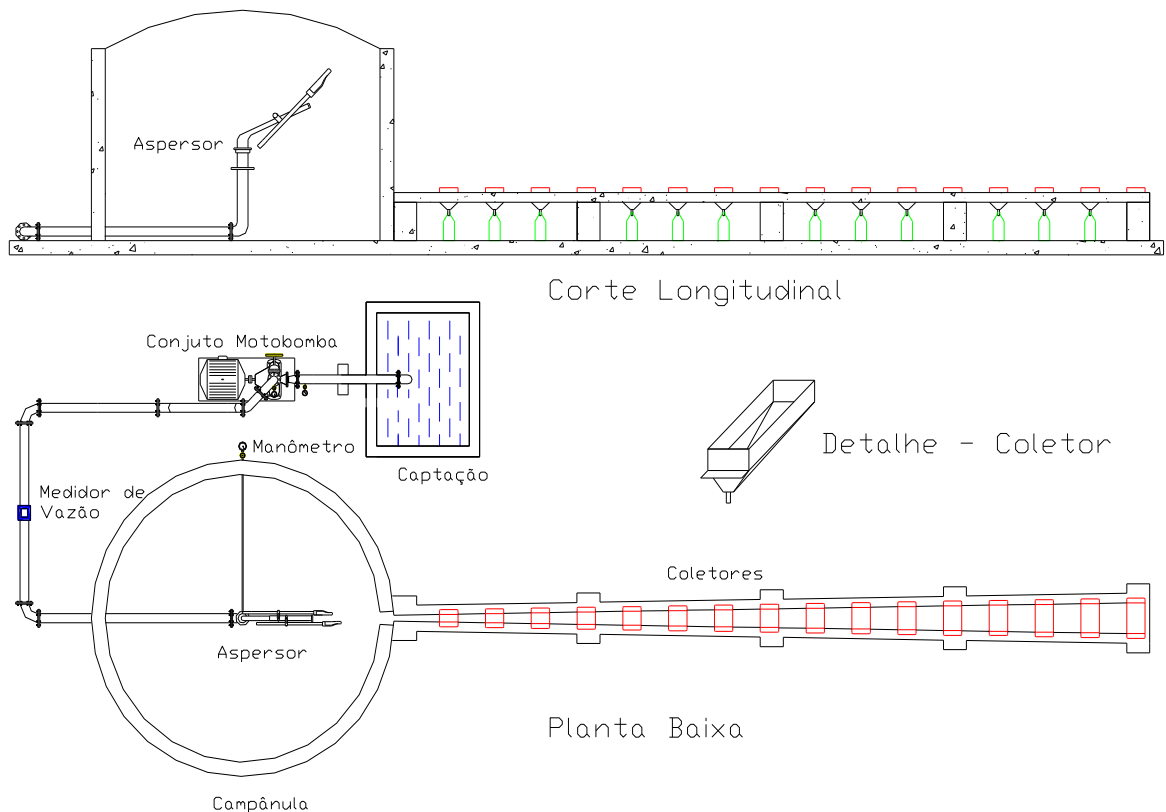


Figura 1. Layout da bancada experimental para amostragem das características técnicas do aspersor.

De modo a efetuar o procedimento de composição dos perfis radiais de distribuição de água, trabalhou-se com os três bocais auxiliares (5, 6 e 7 mm) do aspersor e com o menor (14 mm) e o maior (28 mm) bocal principal do aspersor. Dessa forma, os ensaios para a determinação dos valores de vazão, de raio de alcance e do perfil radial de distribuição de água foram determinados para os bocais principais 14 e 28 mm, com o bocal auxiliar fechado, e para os bocais auxiliares 5, 6 e 7 mm, com o bocal principal fechado. Esses ensaios foram realizados sob cinco valores de pressão de serviço (294, 392, 490, 588 e 686 kPa), medidas na base do aspersor com manômetro alocado de modo a coincidir com a altura do bocal principal.

Como o giro do aspersor é proporcionado pelo impacto do braço oscilante sobre o jato do bocal principal, para proceder aos ensaios dos bocais auxiliares, os quais o bocal principal era fechado, foi construído um mecanismo para proporcionar o giro do aspersor durante os ensaios. Este mecanismo, como mostra a Figura 2, é constituído de um motor elétrico de 1/3 de CV com caixa de redução que apresenta uma rotação de 70 rpm e redutores de rotação de modo que o aspersor apresentasse uma rotação de 0,5 rpm. Trabalhou-se com este valor de rotação do aspersor, pois os demais ensaios do aspersor, operando com os bocais principais, foram realizados com rotações próximas a este valor.

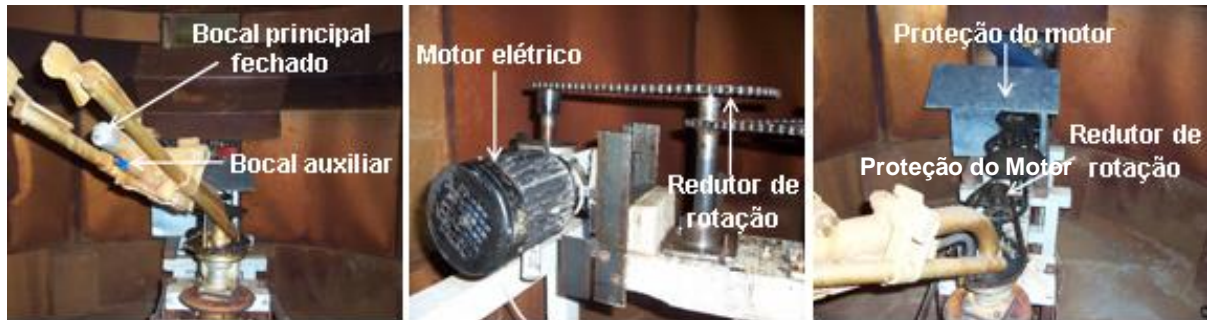


Figura 2. Mecanismo de rotação para ensaio dos bocais auxiliares do aspersor PLONA-RL250.

Para verificar a adequação da metodologia de composição dos perfis radiais de distribuição de água também foram realizados, sob os mesmos valores de pressão de serviço, os ensaios de vazão, raio de alcance e perfil radial de distribuição de água combinando os bocais principais com os bocais auxiliares (14 x 5, 14 x 6, 14 x 7, 28 x 5, 28 x 6 e 28 x 7 mm).

4.2 Tratamento dos dados de ensaio

Após a determinação de cada perfil radial de distribuição de água, seguindo sugestão de Seginer et al. (1992), Li (1996) e Molle & Gat (2000), o valor de vazão determinado pelo hidrômetro foi comparado com o valor de vazão correspondente ao giro completo do perfil radial de distribuição de água, dado pela expressão:

$$Q_c = 2\pi \int_0^R \frac{i(r) \cdot r \cdot dr}{1000} \quad (1)$$

em que, Q_c é a vazão do aspersor correspondente ao giro completo do perfil radial ($m^3 h^{-1}$); R o raio de alcance do aspersor (m); r a distância radial de cada coletor em relação ao aspersor (m); $i(r)$ a intensidade de precipitação em função da distância radial do aspersor ($mm h^{-1}$).

O raio de alcance, para as diferentes combinações de pressão de serviço e bocais do aspersor, foi determinado no perfil radial de distribuição de água ensaiado, a partir dos valores de intensidade de precipitação observados nos dois últimos coletores. Esses valores foram prolongados linearmente até a intensidade de precipitação assumir valor igual a zero. Esta determinação pode ser dada pela expressão:

$$R = \frac{(i_{n-1} \cdot r_n) - (i_n \cdot r_{n-1})}{i_{n-1} - i_n} \quad (2)$$

em que, i_n é a intensidade de precipitação ocorrida no coletor n (mm h^{-1}); i_{n-1} a intensidade de precipitação ocorrida no coletor $n-1$ (mm h^{-1}); r_n a distância do aspersor ao coletor n (m); r_{n-1} a distância do aspersor ao coletor $n-1$ (m); n o número de coletores utilizados no ensaio.

Seguindo a metodologia de Solomon & Bezdek (1980), cada perfil radial de distribuição de água foi adimensionalizado, expressando a distância ao aspersor em termos da fração do raio de alcance e os valores de intensidade de precipitação em termos da intensidade média de aplicação de água, dados pelas expressões:

$$ra_j = \frac{r_j}{R} \quad (3)$$

$$ia_j = \frac{i_j \cdot \pi \cdot R^2}{1000 \cdot Q_c} = \frac{i_j}{im} \quad (4)$$

em que, ra_j é a distância adimensional em relação ao aspersor; r_j a distância do coletor em relação ao aspersor (m); ia_j a intensidade de precipitação adimensional; i_j a intensidade de precipitação coletada (mm h^{-1}); im a intensidade de precipitação média aplicada pelo aspersor (mm h^{-1}); j o índice de identificação de cada coletor.

Com as informações contidas em cada perfil radial adimensional, foram construídos novos perfis radiais adimensionais de distribuição de água contendo quarenta valores de intensidade de aplicação de água (ia_s), correspondentes às distâncias adimensionais dadas por:

$$ra_s = 0,0125 + (s - 1) \cdot 0,025 \quad \text{com } 1 \leq s \leq 40 \quad (5)$$

em que, ra_s é a distância adimensional ao aspersor, dada pelo índice s .

Na reconstituição dos perfis radiais de distribuição de água, para sua forma dimensional, são utilizados os valores de vazão e raio de alcance do aspersor determinados nos ensaios. Para tanto foram ajustadas, para cada bocal principal e auxiliar, equações, tipo potencial, de vazão e raio de alcance, em função da pressão de serviço do aspersor, dadas por:

$$Q_a = k_a \cdot p^{0,5} \quad (6)$$

$$Q_p = k_p \cdot p^{0,5} \quad (7)$$

$$R_a = x_a \cdot p^{y_1} \quad (8)$$

$$R_p = x_p \cdot p^{y_2} \quad (9)$$

em que, Q_a é a vazão do bocal auxiliar ($m^3 h^{-1}$); Q_p a vazão do bocal principal ($m^3 h^{-1}$); R_a o raio de alcance do bocal auxiliar (m); R_p o raio de alcance do bocal principal (m); p é a pressão de serviço do aspersor (kPa); k_a e k_p são coeficientes de ajuste das equações de vazão; x_a , x_p , y_1 e y_2 são coeficientes de ajuste das equações de raio de alcance.

Para a vazão do aspersor ensaiada, em função da pressão de serviço, com o conjunto de bocais auxiliar e principal também foi ajustada uma equação do tipo potencial dada por:

$$Q_{a+p} = k_{a+p} \cdot p^{0,5} \quad (10)$$

em que, Q_{a+p} é a vazão do conjunto de bocais auxiliar e principal ($m^3 h^{-1}$); k_{a+p} o coeficiente de ajuste da equação de vazão.

No caso do raio de alcance do aspersor operando com o conjunto de bocais auxiliar e principal, trabalhou-se com os valores originais de raio de alcance, obtidos no perfil radial de distribuição de água com auxílio da equação 2.

4.3 Procedimento de composição dos perfis radiais

A vazão do aspersor, para uma mesma pressão de serviço, operando com o conjunto de bocais auxiliar e principal apresenta um valor inferior ao valor da vazão do bocal auxiliar somado com o valor da vazão do bocal principal operando individualmente. Desta forma, a pressão de serviço, para o bocal auxiliar e principal, a ser considerada na composição do perfil radial de distribuição de água, também terá um valor inferior à pressão de serviço do aspersor operando com o conjunto de bocais auxiliar e principal, que é calculada por:

$$p' = p \cdot \left(\frac{k_{a+p}}{k_a + k_p} \right)^2 \quad (11)$$

em que, p' é a pressão de serviço do bocal auxiliar e principal corrigida para composição do perfil radial de distribuição de água (kPa).

Com o valor da pressão de serviço corrigida, determina-se os valores de vazão (equações 7 e 8) e raio de alcance (equação 9 e 10) do bocal auxiliar e principal do aspersor. Também como o valor da pressão de serviço corrigida é um pouco inferior ao valor da pressão de serviço do aspersor operando com o conjunto de bocais auxiliar e principal, seguindo metodologia descrita por Prado & Colombo (2005b), procedeu-se a uma interpolação linear, dos valores de intensidade de precipitação adimensional (ia_s), dados pelas distâncias adimensionais ra_s , entre dois intervalos de pressões de serviço, mais próximas e compreendidas entre o valor da pressão de serviço corrigida. A expressão utilizada para determinação do perfil radial interpolado do bocal auxiliar e do bocal principal, para a pressão corrigida p' , é dada por:

$$iad_s = \frac{ias_s(p' - pi) + ia_i(ps - p')}{ps - pi} \quad \text{com } 1 \leq s \leq 40 \quad (12)$$

em que, iad_s é a intensidade de precipitação adimensional obtida por interpolação para a pressão p' ; ias_i a intensidade de precipitação adimensional para o perfil radial adimensional

obtido na pressão imediatamente acima a pressão p' (p_s em kPa); i_{ai} a intensidade de precipitação adimensional para o perfil radial adimensional obtido na pressão imediatamente abaixo a pressão p' (p_i em kPa).

A partir dos valores de vazão, raio de alcance e perfil radial adimensional do bocal auxiliar e principal, procede-se a dimensionalização do perfil radial de distribuição de água, multiplicando os valores adimensionais de distância ao aspersor ($r_{a,s}$) pelo valor do raio de alcance e multiplicando os valores adimensionais de intensidade de precipitação ($i_{ad,s}$) pelo valor de intensidade de precipitação média (i_m).

Para valores de pressão de serviço corrigidas (p') menores que 294 kPa, não foi efetuado o processo de interpolação linear entre perfis radiais adimensionais. Nessa condição, determinou-se o valor da vazão e raio de alcance dos bocais auxiliar e principal com o valor da pressão de serviço corrigida (p'), e foi utilizado o próprio perfil radial adimensional de distribuição de água, obtido na pressão de serviço de 294 kPa, no processo de dimensionalização.

Na composição dos perfis radiais de distribuição de água do aspersor, operando com os bocais auxiliar e principal, os valores dimensionais de intensidade de precipitação, ocorridos no perfil radial de distribuição de água do bocal principal, são somados aos valores dimensionais de intensidade de precipitação, ocorridos no perfil radial de distribuição de água do bocal auxiliar, pela expressão:

$$i_{(a+p)s} = \frac{(r_{(p)s} - r_{(a)s1}) - (i_{(a)s1+1} - i_{(a)s1})}{r_{(a)s1+1} - r_{(a)s1}} + (i_{(p)s} + i_{(a)s1}) \quad (13)$$

com: $r_{(a)s1} \leq r_{(p)s} \leq r_{(a)s1+1}$; $1 \leq s \leq 40$ e $1 \leq s1 < 40$

em que, $i_{(p+a)s}$ é a intensidade de precipitação de índice s do aspersor com os bocais principal e auxiliar (mm h^{-1}); $i_{(p)s}$ a intensidade de precipitação de índice s do aspersor com o bocal principal (mm h^{-1}); $i_{(a)s1}$ a intensidade de precipitação de índice $s1$ do aspersor com o bocal auxiliar (mm h^{-1}); $i_{(a)s1+1}$ a intensidade de precipitação de índice $s1+1$ do aspersor com o bocal auxiliar (mm h^{-1}); $r_{(p)s}$ a distância de índice s ao aspersor com o bocal principal (m); $r_{(a)s1}$ a distância de índice $s1$ ao aspersor com o bocal auxiliar (m); $r_{(a)s1+1}$ a distância de índice $s1+1$ ao aspersor com o bocal auxiliar (m).

4.4 Validação do modelo

De modo a verificar a consistência da metodologia de composição dos perfis radiais de distribuição de água, foram comparados, pelo coeficiente de determinação, os 40 valores de intensidades de precipitação adimensionais, dos perfis radiais compostos, com os 40 valores de intensidades de precipitação adimensionais, dos perfis radiais do conjunto de bocais auxiliar e principal determinados em laboratório. Também foi realizada uma análise dos valores de uniformidade de aplicação de água de equipamentos autopropelidos de irrigação, obtidos com os perfis radiais compostos, com os valores de uniformidade de aplicação de água, obtidos com os perfis radiais determinados em laboratório para o conjunto de bocais auxiliar e principal.

Para esta última análise, foi desenvolvido um aplicativo computacional, em *Visual Basic* da planilha eletrônica *Excel*, seguindo modelo descrito por Prado (2004), para simular a uniformidade de aplicação de água de sistemas autopropelidos de irrigação. Com este programa, foram obtidos os valores de uniformidade de aplicação de água, coeficiente de Christiansen, gerados pelos perfis radiais compostos e pelos perfis radiais do conjunto,

determinados em laboratório, para o aspersor deslocando-se ao longo do carreador com uma velocidade linear constante de 50 m h^{-1} , operando com um ângulo de giro de 270° e espaçamento de carreadores compreendidos entre 40 a 80% do diâmetro molhado do aspersor.

Os valores de uniformidade de Christiansen, obtidos com os perfis radiais do conjunto, determinados em laboratório, foram relacionados aos valores de uniformidade de Christiansen, obtidos com os perfis radiais compostos, a partir de uma equação de reta ajustada. Também foi determinado o erro relativo entre os valores de uniformidade de Christiansen, dado expressão:

$$Er = \frac{\text{Abs}(CUC_{pl} - CUC_{pc})}{CUC_{pl}} \cdot 100 \quad (14)$$

em que, Er é o erro relativo (%); CUC_{pl} a uniformidade de Christiansen para com o perfil radial do conjunto de bocais, obtido em laboratório (%); CUC_{pc} a uniformidade de Christiansen obtida com o perfil radial composto (%).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentadas as equações de vazão e de raio de alcance do bocal auxiliar (5, 6 e 7 mm) e principal (14 e 28 mm) operando individualmente no aspersor PLONA-RL250. Observa-se, também nesta tabela, que as equações de vazão e de raio de alcance apresentaram coeficientes de determinação todos superiores a 96%, revelando um bom ajuste aos dados observados nos ensaios de laboratório.

Tabela 1. Equações de vazão e raio de alcance do aspersor PLONA-RL250 trabalhando com os bocais auxiliares e principais individualmente.

Bocal - b (mm)	Vazão - Q ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	Raio de Alcance - R (m)
5	$Q_a = 0,0989 \cdot p^{0,5}$ ($r^2=0,9984$)	$R_a = 4,8389 \cdot p^{0,2330}$ ($r^2=0,9880$)
6	$Q_a = 0,1320 \cdot p^{0,5}$ ($r^2=0,9868$)	$R_a = 4,9729 \cdot p^{0,2424}$ ($r^2=0,9687$)
7	$Q_a = 0,1886 \cdot p^{0,5}$ ($r^2=0,9990$)	$R_a = 2,6661 \cdot p^{0,3568}$ ($r^2=0,9961$)
14	$Q_p = 0,7112 \cdot p^{0,5}$ ($r^2=0,9933$)	$R_p = 3,6927 \cdot p^{0,3717}$ ($r^2=0,9909$)
28	$Q_p = 2,8032 \cdot p^{0,5}$ ($r^2=0,9999$)	$R_p = 1,1160 \cdot p^{0,6144}$ ($r^2=0,9931$)

Na composição dos perfis radiais de distribuição de água, é necessária a realização dos ensaios de laboratório para a determinação das equações de vazão do conjunto de bocais auxiliar e principal, apresentados na Tabela 2. Conforme os valores de coeficientes de determinação apresentados nesta tabela, verifica-se que os dados observados nos ensaios de laboratório apresentaram adequados ajustes as equações ($r^2 > 99\%$).

A realização dos ensaios de vazão do conjunto de bocais auxiliar e principal é necessária para a composição do perfil radial distribuição de água, pois é possível verificar, a partir das equações da Tabela 1, que para uma mesma pressão de serviço, a soma algébrica da vazão do bocal auxiliar com a vazão do bocal principal não corresponderá, como pode ser observado na Tabela 2, a vazão do aspersor operando com o conjunto de bocais. Dessa forma, não é adequado proceder ao cálculo da vazão do aspersor, como apresentado por Pereira

(2003), utilizando coeficientes de descarga (Cd) do bocal auxiliar e do bocal principal determinados individualmente, e sim utilizar um coeficiente de descarga do aspersor operando com o conjunto de bocais auxiliar e principal.

Apesar do inconveniente da realização dos ensaios de laboratório para a determinação dos valores de vazão do conjunto de bocais auxiliar e principal, em função da pressão de serviço, o uso desta metodologia ainda é justificável, pois ensaios de vazão são rápidos e menos trabalhosos que a determinação dos perfis radiais de distribuição de água para as diferentes combinações possíveis de bocais principais, bocais auxiliares e pressão de serviço do aspersor. Para os 8 diâmetros de bocais principais (14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 e 28), 4 condições de bocais auxiliares (0, 5, 6 e 7) e 5 pressões de serviço (294, 392, 490, 588 e 686 kPa) do aspersor PLONA-RL250 seriam possíveis 160 diferentes combinações operacionais para a determinação dos perfis radiais do aspersor. Ao utilizar esta metodologia de composição, 120 ensaios são necessários para determinar os perfis radiais do aspersor, para todas as combinações possíveis de bocal principal, bocal auxiliar e pressão de serviço do aspersor.

Tabela 2. Equações de vazão do aspersor PLONA-RL250 trabalhando com o conjunto de bocais auxiliar e principal.

Bocais - b (mm)	Vazão - Q (m ³ h ⁻¹)
14x5	$Q_{a+p} = 0,8001 \cdot p^{0,5}$ (r ² =0,9949)
14x6	$Q_{a+p} = 0,8349 \cdot p^{0,5}$ (r ² =0,9940)
14x7	$Q_{a+p} = 0,8858 \cdot p^{0,5}$ (r ² =0,9999)
28x5	$Q_{a+p} = 2,8818 \cdot p^{0,5}$ (r ² =0,9999)
28x6	$Q_{a+p} = 2,9060 \cdot p^{0,5}$ (r ² =0,9999)
28x7	$Q_{a+p} = 2,9347 \cdot p^{0,5}$ (r ² =0,9998)

Com as equações de vazão do bocal auxiliar e do bocal principal (Tabela 1) e do conjunto dos bocais auxiliar e principal (Tabela 2) determina-se a pressão de serviço corrigida, p', e calcula-se o perfil radial de distribuição de água composto do aspersor, como apresentado na Figura 3. Nessa figura, são apresentados o perfil radial do bocal auxiliar (linha amarela), o perfil radial do bocal principal (linha verde), o perfil radial composto com o bocal auxiliar e principal (linha azul) e o perfil radial do conjunto de bocais auxiliar e principal determinado em laboratório (pontos vermelhos), considerando uma pressão de serviço de 490 kPa para o conjunto de bocais auxiliar e principal. Observa-se que os perfis radiais compostos apresentaram uma boa semelhança aos perfis radiais do conjunto de bocais auxiliar e principal determinados em laboratório.

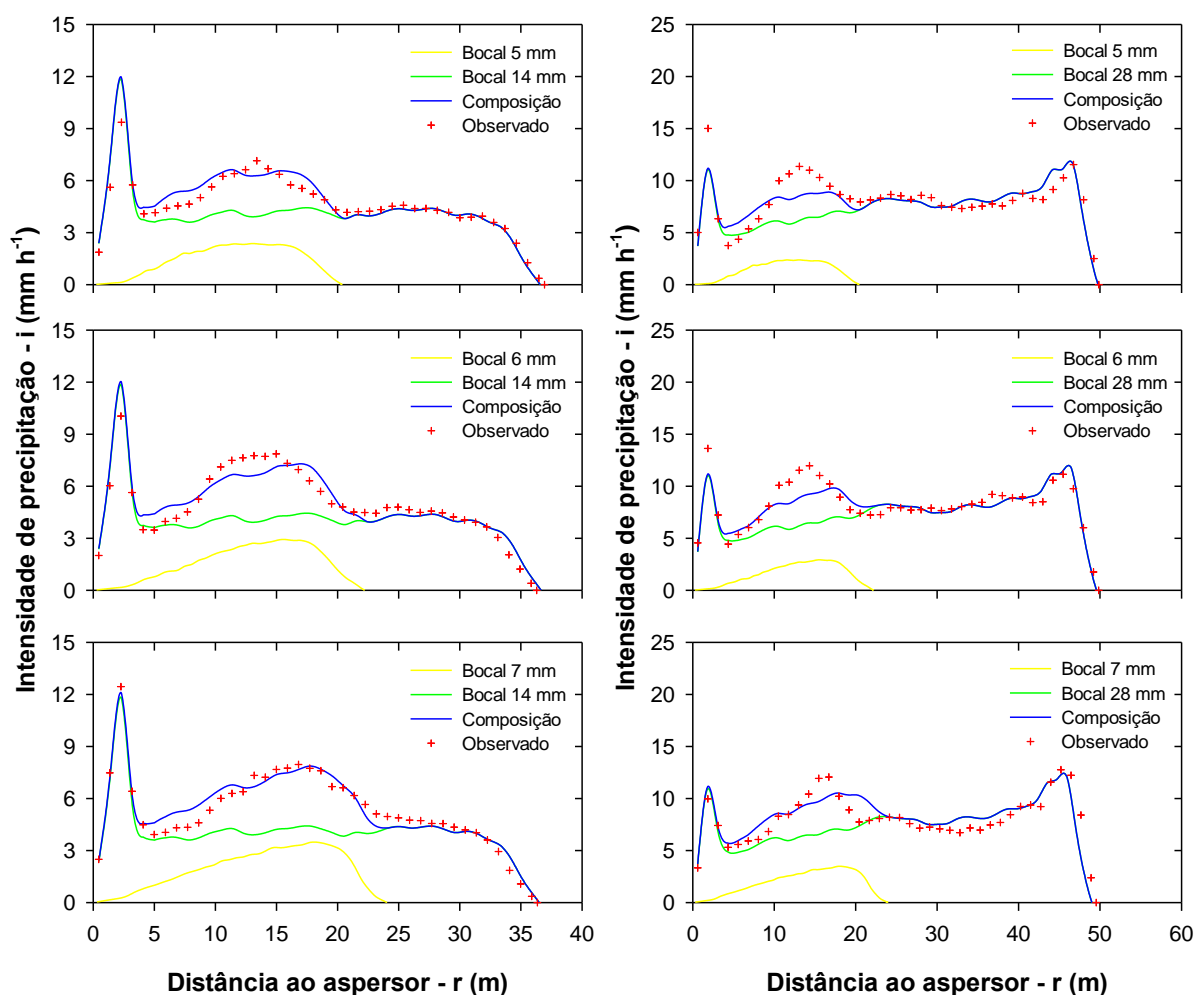


Figura 3. Perfis radiais de distribuição de água do aspersor PLONA-RL250 compostos e observados em ensaios de laboratório, considerando uma pressão de serviço de 490 kPa para o conjunto de bocais auxiliar e principal.

Na Tabela 3, são apresentados os valores de coeficientes de determinação obtidos na comparação dos valores de intensidades de precipitação adimensionais dos perfis radiais compostos com os valores de intensidades de precipitação adimensionais dos perfis radiais do conjunto de bocais auxiliar e principal. Observa-se, nesta tabela, que os menores valores de coeficientes de determinação ocorreram na pressão de serviço de 294 kPa, para esta pressão não houve interpolação linear entre dois perfis radiais adimensionais. Dessa forma, recomenda-se a realização de ensaios de distribuição de água, tanto do bocal auxiliar como do bocal principal, em uma pressão de serviço mais baixa, por exemplo, 245 kPa, para possibilitar este procedimento de interpolação.

De acordo com as observações de Molle & Gat (2000), uma boa adequação dos valores estimados aos valores observados é obtida com valores de coeficiente de determinação em torno de 85%. Verifica-se, na Tabela 3, que para a maior parte dos valores encontrados, o coeficiente de determinação foi superior a 85% com uma média geral igual a 88,57%.

Tabela 3. Coeficientes de determinação obtidos na comparação entre os valores de intensidades de precipitação adimensionais dos perfis radiais compostos com os perfis radiais do conjunto de bocais auxiliar e principal.

Bocais - b (mm)	Pressão de serviço – p (kPa)				
	294	392	490	588	686
14x5	0,8767	0,9182	0,9343	0,9579	0,9516
14x6	0,8535	0,9392	0,9179	0,9699	0,9412
14x7	0,8012	0,9099	0,9601	0,9590	0,9291
28x5	0,8240	0,9017	0,8050	0,8754	0,9422
28x6	0,6273	0,9587	0,8626	0,8836	0,9332
28x7	0,7370	0,8876	0,8819	0,7847	0,8472

Na Figura 4^a, é apresentada a relação linear entre os valores de CUC, obtidos com os perfis radiais determinados em laboratório e com os perfis radiais determinados pelo procedimento de composição. Essa relação linear, demonstrada por uma equação de reta, apresentou um coeficiente de determinação igual a 95% e uma inclinação da reta igual a 44° 12', denotando uma boa aderência entre os valores de intensidade de precipitação dos perfis radiais determinados em laboratório com as intensidades de precipitação dos perfis radiais compostos.

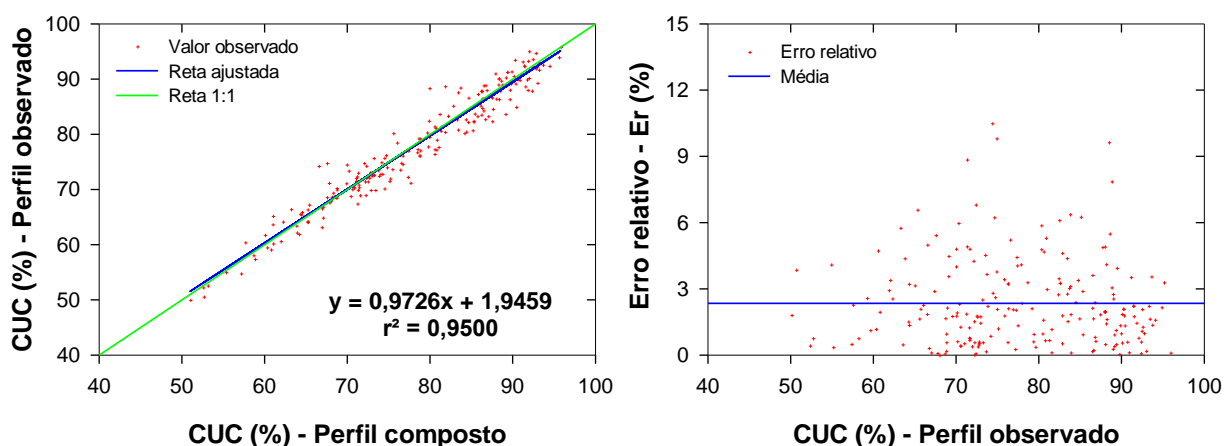


Figura 4. Relação dos valores de CUC (a) e erro relativo (b) obtidos com os perfis radiais compostos e os perfis radiais do conjunto de bocais auxiliar e principal, para sistemas autopropelidos de irrigação.

Na Figura 4b, são apresentados os valores de erros relativos percentuais entre os valores de CUC, determinados com os perfis radiais obtidos em laboratório e com os perfis

radiais obtidos pelo procedimento de composição, originados de 212 simulações de espaçamento entre carregadores. O erro relativo médio foi igual a 2,34%, sendo o maior valor de erro relativo igual a 10,52%, gerado por um erro absoluto de 8,54% e o menor valor de erro relativo foi de 0,01%, gerado por um erro absoluto de 0,007%.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que: i) o procedimento de composição do perfil radial do bocal auxiliar com o perfil radial do bocal principal, obtidos separadamente em ensaios de laboratório, pode ser utilizado para a determinação do perfil radial do conjunto de bocais; ii) o procedimento de composição do perfil radial de aspersores não influencia, de maneira significativa, na uniformidade de aplicação de água de aspersores operando em sistemas de irrigação.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. **Catch-3D sprinkler pattern analysis software: user's manual**. Logan: Utah State University, Department of Biological and Irrigation Engineering, 1992. 14 p.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE Standard S330.1: procedure for sprinkler distribution testing research purposes. In: _____. **ASAE Standards**. St. Joseph: ASAE, 1987. p. 487-489.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2005. 611 p.
- CARRIÓN, P.; TARJUELO, J.; MOTERO J. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation. I. Description of model. **Irrigation Science**, New York, v. 20, p. 74-84, 2001.
- GAT, Y. L.; MOLLE, B. Model of water application under pivot sprinkler: I theoretical grounds. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 126, n. 6, p. 343-347, Nov./Dec. 2000.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7749-2: irrigation equipment: rotating sprinkler. Part2: Uniformity of distribution and test methods**. Switzerland, 1990. 6 p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.
- KINCAID, D. C. Impact sprinkler pattern modification. **Transactions of the American of Agricultural Engineers**, 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.

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.

NEWELL, G. F.; FOLEY, J.; SMITH, R. **TRAVGUN-Travelling Gun Simulation model user's manual**. Version 1.1. Toowooba, QLD. Austrália, 2003. 91 p.

PEREIRA, G. M. Aspersão convencional. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. p. 107-178.

PRADO, G. **Aplicativo computacional para simulação da distribuição de água pelo aspersor PLONA-RL300 em sistemas autopropelidos de irrigação**. 2004. 86 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Caracterização técnica do aspersor PLONA-RL300. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 53-63, jan./abr. 2005a.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Interpolação de perfis radiais de aplicação de água de aspersores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2005b.

ROLIM, J.; PEREIRA, L.S. Design and evaluation of traveling-gun systems: the simulation model TRAVGUN. In: EFITA/WCCA JOINT CONGRESS ON IT IN AGRICULTURE, 5., 2005, Vila Real. **Proceedings...** Vila Real: EFITA/WCCA, 2005. p. 166-171.

SEGINER, I. et al. Indoor measurement of single-radius sprinkler patterns. **Transactions of the American society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 35, n. 2, p. 523-533, Mar./Apr. 1992.

SOLOMON, K.; BEZDEK, J. C. Charactering sprinkler distribution patterns with a clustering algorithm. **Transactions of American of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 23, n. 4, p. 899-906, July/Aug. 1980.

YANAGI JÚNIOR, T.; FERREIRA, E.; COLOMBO, A. Dimensionamento e predição de água em sistemas de irrigação por aspersores autopropelidos. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 302-310, jul./set. 1995.

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