

## ANÁLISE DA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA PELO ASPERSOR PLONA-RL250 EM SISTEMAS AUTOPROPELIDOS DE IRRIGAÇÃO

**Giuliani do Prado; Alberto Colombo**

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

### 1 RESUMO

Este trabalho apresenta características técnicas do aspersor PLONA-RL250 (vazão, raio de alcance e perfil radial de aplicação de água) e valores de uniformidade de aplicação de água, obtidos em simulações digitais, para o mesmo aspersor operando em sistemas autopropelidos de irrigação com diferentes combinações de ângulos de giro (de 180° a 360°) e espaçamentos de carreadores (de 50% a 100% do diâmetro molhado). Os valores de uniformidade foram apresentados em quatro grupos distintos, cada um dos quais contendo condições operacionais (bocal e pressão) que determinam a ocorrência de uma mesma forma geométrica (I, II, III ou IV) do perfil radial adimensional de aplicação de água do aspersor PLONA-RL250. Nos grupos I, II e III observou-se que espaçamentos de carreadores entre 80 e 90% do diâmetro molhado proporcionaram os maiores valores de uniformidade. Para o grupo IV, os maiores valores encontram-se entre 70 e 80% do diâmetro molhado. Em todas as formas geométricas do perfil, os melhores valores de uniformidade de aplicação de água foram obtidos com ângulos de giro do aspersor entre 210 e 240°.

**UNITERMOS:** simulação, uniformidade de irrigação, ângulo de giro de aspersores.

### PRADO, G. do; COLOMBO, A. ANALYSIS OF WATER APPLICATION UNIFORMITY FROM THE PLONA-RL 250 SPRINKLER IN TRAVELER IRRIGATION SYSTEMS

### 2 ABSTRACT

This study presents measured performance data from an PLONA-RL250 sprinkler (discharge, radius of throw and radial water application profile) and water uniformity application values, obtained by digital simulation, from this same sprinkler when operating in traveler irrigation systems under different combinations of wetted sectors (from 180° to 360°) and towpath spacings (from 50% to 100% of the wetter diameter). Simulated water distribution uniformity values were presented in four different groups, according to the geometric shape (I, II, III or IV) assumed by the dimensionless sprinkler application curve, as determined by operating conditions (main nozzle diameter and pressure). For groups I, II, and III, it was observed that towpath spacings with values around 80 to 90% of the wetted diameter resulted on higher uniformity values. For group IV, higher uniformity values were obtained with spacings around 70 to 80% of the wetted diameter. For all geometric shapes (groups), the higher uniformity values were obtained with wetted sectors from 210 to 240°.

**KEYWORDS:** sprinkler simulation, irrigation uniformity, sprinkler wetted sector

### 3 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática que propicia, em regiões onde há déficits hídricos, incrementos consideráveis na produtividade das culturas, quando bem dimensionada e manejada. Entretanto, sistemas de irrigação mal planejados, apresentando baixa uniformidade de aplicação de água, podem proporcionar quedas na produção, bem como excessivas perdas de água, energia e fertilizantes (Clemmens, 1991).

Para os diferentes métodos de irrigação, a uniformidade de aplicação de água é um fator que reflete a qualidade do sistema de irrigação, sendo este parâmetro representado por um coeficiente de uniformidade estatístico, ao qual é atribuído, para cada sistema de irrigação, um valor mínimo aceitável. No caso da aspersão é aconselhável que os valores de uniformidade (coeficiente de Christiansen - CUC) sejam superiores a 80% (Keller & Bliesner, 1990; Bernardo et al., 2005), porém, em sistemas autopropelidos de irrigação valores na ordem de 70% podem ser considerados como bons (Matsura & Testezlaf, 2003).

A uniformidade de aplicação de água em sistemas autopropelidos de irrigação é influenciada por inúmeros fatores: velocidade e direção do vento, ângulo de lançamento do jato de água, tipo de bocal, ângulo de giro do aspersor, características do perfil estacionário de aplicação de água do aspersor, sobreposição dos perfis radiais e variações na pressão de serviço e na velocidade de deslocamento do aspersor ao longo do carreador (Shull & Dylla, 1976; Collier & Rochester, 1980; Colombo, 1991).

Avaliações da uniformidade de aplicação de água no campo, como a efetuada por Rocha (2000), para um equipamento autopropelido de irrigação, são de grande valia para estabelecer critérios de dimensionamento e operação do sistema de irrigação. Porém, devido aos inúmeros fatores que influenciam a uniformidade de aplicação de água, a realização de ensaios de campo torna-se uma tarefa demorada, e na maioria das vezes, não se consegue realizar as avaliações em todas as condições operacionais e ambientais desejadas (Carrión et al., 2001; Conceição, 2002). Deste modo, o uso de simulações digitais em computadores, para efetuar a análise da uniformidade de aplicação de água, torna-se uma ferramenta extremamente útil devido à agilização, à precisão e à segurança dos resultados obtidos (Yanagi Júnior et al., 1995), bastando para isto estabelecer, na ausência de ventos e na pressão de serviço desejada, o perfil estacionário de aplicação de água do aspersor a ser utilizado no sistema de irrigação.

As características técnicas de distribuição de água dos aspersores, como as apresentadas por Prado & Colombo (2005), são dados técnicos essenciais para estabelecer, com auxílio de aplicativos computacionais, critérios de dimensionamento e adequadas condições operacionais que o sistema de irrigação deverá operar. Apesar da importância do conhecimento desses dados técnicos, raramente, os fabricantes de aspersores apresentam esses valores em seus catálogos técnicos, ou por desconhecimento ou pela excessiva gama de informações que o catálogo irá apresentar, ficando pouco prático.

César et al. (2004) apresentam uma proposta de catálogo técnico para sistemas de irrigação por aspersão convencional. Neste catálogo é exposto de forma compacta, além dos dados de vazão, raio de alcance e intensidade de precipitação, os valores de uniformidade de aplicação de água para as diferentes condições operacionais de pressão de serviço, de diâmetro do bocal e de espaçamento entre aspersores. Os dados de uniformidade de aplicação de água, apresentados no catálogo, foram gerados por meio de simulações digitais, a partir dos perfis radiais de aplicação de água do aspersor estudado.

O desconhecimento das características de distribuição de água dos aspersores leva à adoção de critérios de dimensionamento e condições operacionais, comumente, apresentadas

na literatura ou usualmente recomendadas por projetistas de sistemas de irrigação. Estas recomendações podem, muitas vezes, não se adequar ao sistema de irrigação projetado. Para sistemas autopropelidos de irrigação é recomendado, na literatura (Keller & Bliesner, 1990; Bernardo et al., 2005), que o valor de espaçamento entre carregadores igual a 80% do diâmetro molhado do aspersor proporciona adequado valor de uniformidade de aplicação de água. Rocha (2000) estudando a distribuição de água de um sistema autopropelido de irrigação, operando com um aspersor Big River, confirmou este valor de espaçamento; entretanto, Prado et al. (2004) verificaram, com auxílio de simulações digitais, que para algumas condições operacionais do aspersor PLONA-RL300, em sistemas autopropelidos de irrigação, adequados valores de espaçamento entre carregadores foram obtidos com 85% do diâmetro molhado do aspersor.

Também para sistemas autopropelidos de irrigação, normalmente, é recomendado, por projetistas, operar o canhão hidráulico com um ângulo de giro igual a 270° (Rocha et al., 2005). Porém, Keller & Bliesner (1990) estudando, a partir de simulações digitais, um aspersor com um perfil radial estacionário com formato geométrico uniforme (perfil F de Christiansen), demonstraram que aspersores acoplados em autopropelidos operando com ângulo de giro de 210° proporciona o perfil de aplicação de água mais uniforme, para o aspersor em deslocamento no carregador. Já Prado et al. (2004) verificaram que ângulo de giro igual a 240° proporciona, para sistemas autopropelidos de irrigação operando com o aspersor PLONA-RL300, uma melhor distribuição de água do aspersor em relação ao ângulo de giro de 270°.

Tendo em vista que, as recomendações técnicas baseadas nas características de distribuição de água dos aspersores fornecem dados de projeto mais adequados para os sistemas de irrigação, os objetivos deste trabalho são: *i*) apresentar as características técnicas de vazão, raio de alcance e perfil radial de aplicação de água do aspersor PLONA-RL250 e; *ii*) dar subsídios técnicos, a projetistas, na adoção de ângulo de giro e espaçamento entre carregadores de equipamentos autopropelidos operando com o aspersor PLONA-RL250.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras - UFLA, em Lavras-MG, onde foram levantadas as características de vazão, raio de alcance e perfil radial do aspersor PLONA-RL250, em função da pressão de serviço e dos diâmetros dos bocais. A partir das características técnicas do aspersor, foram estabelecidos, com auxílio de simulações digitais, critérios de dimensionamento, para auxiliar na tomada de decisão, de valores de espaçamento entre carregadores e ângulos de giro do aspersor, operando em sistemas autopropelidos de irrigação.

O aspersor PLONA, modelo RL250, é um canhão hidráulico de reversão lenta, com um flange de acoplamento de 2 ½", um ângulo de lançamento de jato d'água de 24° e giro proporcionado pelo impacto de um dos seus dois braços oscilantes. Este aspersor consta de um bocal principal, tipo cônico de latão, com oito diâmetros distintos (14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 e 28 mm) e um bocal auxiliar, tipo cônico de plástico, com diâmetro de 6 mm.

Os ensaios de caracterização da vazão, raio de alcance e perfil radial de aplicação de água foram realizados em função dos oito bocais principais do aspersor e de cinco valores de pressão de serviço (294, 392, 490, 588 e 686 kPa). Estes ensaios foram realizados na bancada de aspersores da UFLA, conforme descrito por Prado & Colombo (2005).

Os valores de distância ao aspersor e intensidade de aplicação de água, de cada perfil radial de aplicação de água, foram adimensionalizados e apresentados em 20 valores, regularmente espaçados em 5% (0,025, 0,075, ... , 0,925 e 0,975), conforme metodologia apresentada por Solomon & Bezdek (1980).

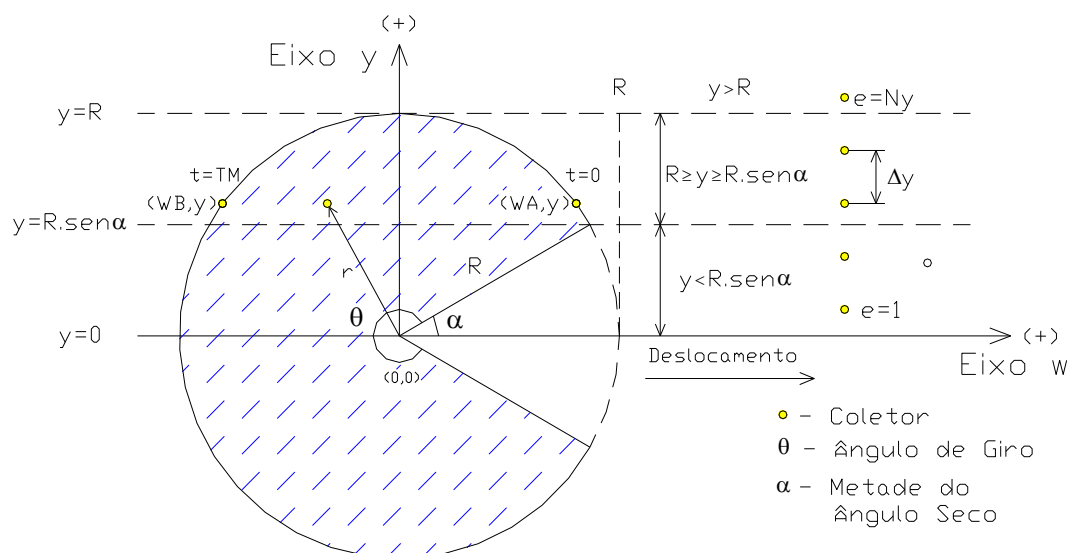
As formas geométricas adimensionais, dos quarenta perfis radiais de aplicação de água, foram racionalizadas com auxílio do algoritmo de agrupamento “K-Means” (Tou & Gonzales, 1974), conforme descrição efetuada por Prado & Colombo (2005).

De modo a efetuar as simulações digitais das melhores condições operacionais de espaçamento entre carreadores e ângulo de giro do aspersor PLONA-RL250, foi desenvolvido um aplicativo computacional, em *Visual Basic* da planilha eletrônica do Excel. Este programa estabelece, em função da combinação de bocal e pressão de serviço desejada, a forma geométrica mais adequada para representar o perfil radial adimensional de aplicação de água do aspersor PLONA-RL250, operando de forma estacionária, e calcula os valores de vazão, raio de alcance e intensidade média de aplicação de água do aspersor.

O perfil adimensional selecionado é transformado em sua forma dimensional, pela multiplicação dos valores adimensionais de distância ao aspersor pelo valor do raio de alcance e pela multiplicação de valores adimensionais de intensidade de precipitação pelo valor da intensidade média de aplicação de água, corrigida em função do ângulo de giro ( $\theta$  em graus) do aspersor.

Os elementos geométricos considerados na simulação das lâminas aplicadas em diferentes pontos, ao longo de um plano perpendicular à trajetória linear de deslocamento do aspersor, com ângulo de giro  $\theta$ , são representados na Figura 1. O ângulo de giro  $\theta$  determina um setor seco ( $\alpha$  em graus), acima do eixo de deslocamento do aspersor, que é dado por:

$$\alpha = \frac{360 - \theta}{2} \quad (1)$$



**Figura 1.** Elementos geométricos considerados na simulação das lâminas aplicadas em diferentes pontos ao longo de um plano perpendicular à trajetória linear de deslocamento do aspersor.

Na simulação das lâminas de água aplicadas, ao longo da linha transversal à linha de deslocamento do aspersor (Figura 1), são considerados  $N_y$  pontos de amostragem (coletores de água), identificados pelo índice “e”, dispostos em espaçamento regular ( $\Delta y$  em m), e estando o primeiro ponto de amostragem a uma distância de  $0,5\Delta y$  da linha de deslocamento do aspersor. Deste modo, o número de coletores considerados para a simulação das lâminas aplicadas é dado por:

$$N_y = \text{Int}\left(\frac{R}{\Delta y}\right) + 1 \quad (2)$$

em que,  $\text{Int}(\beta)$  representa a função matemática que retorna a parte inteira de  $\beta$ .

Conforme indicado na Figura 1, a posição de cada coletor, em relação ao aspersor, é dada por um sistema de coordenadas cartesianas ( $w$ ,  $y$ ) que tem como origem  $(0, 0)$  o aspersor. A coordenada  $y$  de cada ponto de amostragem é calculada pelo seu índice “e” de identificação através da expressão:

$$y = (e - 0,5) \cdot \Delta y \quad (3)$$

Os valores assumidos pela coordenada  $w$  no início da aplicação de água ( $w = W_A$ ) e no final da aplicação de água ( $w = W_B$ ), em pontos de amostragem de coordenada  $y$ , são calculados por:

$$W_A = \begin{cases} \text{Para: } \frac{y}{R} \geq 1 \rightarrow W_A = 0 \\ \text{Para: } \text{sen}\alpha \leq \frac{y}{R} < 1 \rightarrow W_A = \sqrt{R^2 - y^2} \\ \text{Para: } \frac{y}{R} < \text{sen}\alpha \rightarrow W_A = y \cdot \cot g\alpha \end{cases} \quad (4)$$

$$W_B = \begin{cases} \text{Para: } \frac{y}{R} \geq 1 \rightarrow W_B = 0 \\ \text{Para: } \frac{y}{R} < 1 \rightarrow W_B = -\sqrt{R^2 - y^2} \end{cases} \quad (5)$$

Assumindo que o aspersor se desloca ao longo do eixo  $w$ , com velocidade constante ( $V$  em  $\text{m h}^{-1}$ ), a duração do tempo de molhamento ( $T_M$  em h), que é o intervalo de tempo transcorrido entre o início e o final da aplicação de água no ponto com coordenada  $y$ , é calculado por:

$$T_M = \frac{W_A - W_B}{V} \quad (6)$$

No intervalo de tempo  $0 \leq t \leq T_M$  ( $t$  em h), a distância radial ( $r$  em m) do aspersor ao coletor de coordenada  $y$  (Figura 1) pode ser obtida pela expressão:

$$r = \sqrt{y^2 + (W_A - V \cdot t)^2} \quad (7)$$

A lâmina de irrigação aplicada no coletor de coordenada  $y$  é o resultado da integração das intensidades de precipitação aplicadas neste coletor durante o tempo de molhamento. Esta

integração é computada, numericamente, através da primeira regra de Simpson (Campos Filho, 2001), com 40 subintervalos de tempo, pela expressão:

$$\begin{aligned}
 IM_{(e)} = \int_0^{TM} i(r) \cdot dt = \frac{\Delta t}{3} \cdot \left\{ \sum_{k=0}^{19} \left[ i \left( \sqrt{y^2 + (WA - 2k \cdot \Delta t \cdot V)^2} \right) + \dots \right. \right. \\
 \left. \left. \dots + 4 \cdot i \left( \sqrt{y^2 + [WA - (2k + 1) \cdot \Delta t \cdot V]^2} \right) + \dots \right. \right. \\
 \left. \left. \dots + i \left( \sqrt{y^2 + [WA - (2k + 2) \cdot \Delta t \cdot V]^2} \right) \right] \right\} \\
 \text{com: } \Delta t = \frac{TM}{40}
 \end{aligned} \tag{8}$$

em que  $IM_{(e)}$  é a lâmina de irrigação (mm) aplicada no coletor de índice “e”;  $i(r)$  a intensidade de precipitação ( $\text{mm h}^{-1}$ ) no instante em que a distância radial do coletor ao aspersor é  $r$ ; e  $\Delta t$  a duração do subintervalo de tempo (h) utilizado na integração numérica.

De acordo com o perfil radial de aplicação de água do aspersor PLONA-RL250, as intensidades de precipitação,  $i(r)$ , em função da distância radial ao aspersor, são dadas por:

$$i(r) = \begin{cases} \text{Para: } 0 \leq r < 0,025R \rightarrow i(r) = \left( \frac{40000 \cdot Q \cdot ia_1 \cdot r}{\pi \cdot R^3} \right) \cdot \frac{360}{\theta} \\ \text{Para: } 0,025R \leq r \leq 0,975R \\ \rightarrow i(r) = \left\{ 20000 \cdot Q \cdot \frac{0,05 \cdot ia_j \cdot R + [r \cdot (ia_{j+1} - ia_j) + \dots \right. \\ \left. \dots + ra_j \cdot R \cdot (ia_j - ia_{j+1})] \right\} \cdot \frac{360}{\theta} \\ \text{com: } j = \text{Int} \left[ 20 \cdot \left( \frac{r}{R} - 0,025 \right) + 1 \right] \\ \text{Para: } 0,975R < r \leq R \rightarrow i(r) = \left[ \frac{40000 \cdot Q \cdot ia_{20} \cdot (R - r)}{\pi \cdot R^3} \right] \cdot \frac{360}{\theta} \\ \text{Para: } r > R \rightarrow i(r) = 0 \end{cases} \tag{9}$$

em que  $i(r)$  é a intensidade de precipitação ( $\text{mm h}^{-1}$ ), em função da distância radial ( $r$  em m) ao aspersor;  $Q$  a vazão ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ) do aspersor; e  $R$  o raio (m) de alcance do aspersor.

Posteriormente, as lâminas de água aplicadas, ao longo da linha transversal à linha de deslocamento do aspersor, operando com ângulos de giro compreendidos entre 180 e 360°, com intervalos regulares de 30°, foram sobrepostas para diferentes espaçamentos entre carregadores, todos múltiplos de 6 m e no intervalo entre 50 e 100% do diâmetro molhado do aspersor. Os valores de uniformidade de aplicação de água, das lâminas sobrepostas, foram expressos através do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Os resultados das simulações de uniformidade de aplicação de água foram analisados conforme o número de grupos distintos, obtidos através do algoritmo de agrupamento “K-Means”, representativos de cada forma geométrica do perfil radial adimensional de aplicação de água do aspersor PLONA-RL250.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as características técnicas de vazão, raio de alcance e perfil radial adimensional de aplicação de água em função da pressão de serviço e dos diâmetros dos bocais do aspersor PLONA-RL250. Os perfis radiais adimensionais apresentados na Tabela 1 correspondem as quatro formas geométricas distintas (Tabela 2), assumidas pelos perfis radiais de aplicação de água do aspersor PLONA-RL250, que foram identificados pela análise de agrupamento com o algoritmo “K-Means” (TOU & Gonzales, 1974).

**Tabela 1.** Características técnicas de vazão e raio de alcance e formas geométrica (I, II, III ou IV) assumidas pelo perfil radial de aplicação de água do aspersor PLONA-RL250, em função de diferentes condições operacionais.

Pressão (kPa e m.c.a.)	Dados Técnicos	Diâmetro dos Bocais (mm)							
		14 x 6	16 x 6	18 x 6	20 x 6	22 x 6	24 x 6	26 x 6	28 x 6
294 (30)	Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	14,75	18,60	22,81	27,49	32,70	38,02	43,70	48,78
	Raio (m)	29,09	32,12	32,90	34,20	35,25	36,72	35,95	35,95
	Perfil	II	I	I	I	I	I	I	I
392 (40)	Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	16,89	21,09	26,38	31,75	37,67	43,84	50,60	56,23
	Raio (m)	33,47	37,13	38,60	41,11	42,66	42,69	42,75	42,70
	Perfil	II	II	II	I	I	I	I	I
490 (50)	Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	18,87	23,37	29,06	35,44	42,23	48,96	56,54	63,02
	Raio (m)	36,08	41,18	42,75	45,43	47,97	48,59	49,66	50,50
	Perfil	IV	IV	II	II	III	I	I	III
588 (60)	Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	20,52	25,24	31,34	38,72	46,17	53,67	61,93	68,93
	Raio (m)	38,62	42,70	46,86	49,67	52,12	52,12	53,54	55,91
	Perfil	IV	IV	IV	III	III	III	I	III
686 (70)	Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	22,33	27,29	33,86	41,35	49,81	57,87	66,73	74,75
	Raio (m)	40,16	45,70	48,72	50,65	55,56	56,93	57,97	59,07
	Perfil	IV	IV	IV	IV	III	III	III	III

Normalmente os catálogos técnicos dos fabricantes não apresentam os perfis radiais de aplicação de água de seus aspersores, ou por não possuírem estes dados técnicos ou pelo elevado número de informações que o catálogo teria que apresentar. Entretanto, apresentado as informações de distribuição de água do aspersor em termos adimensionais, conforme o agrupamento do perfil, estas informações tornam-se bem compactas e práticas de serem visualizadas.

Para o uso destas informações (Tabela 1), em simulações digitais para sistemas de irrigação por aspersão, basta reconstituir cada perfil radial de aplicação de água para sua forma dimensional. Na Figura 2, para o aspersor PLONA-RL250 operando com os bocais 18 x 6 mm na pressão de serviço de 490 kPa (50 m.c.a.), os valores adimensionais de distância ao

aspersora (Tabela 2) foram multiplicados pelo raio de alcance (42,75 m) e os valores adimensionais de intensidade de aplicaçaõ de água foram multiplicados pela intensidade média de aplicaçaõ de água do aspersora (5,06 mm h<sup>-1</sup>).

**Tabela 2.** Valores adimensionais de intensidade de aplicaçaõ de água (ia) e distância ao aspersora (ra) para quatro formas geométricas distintas (I, II, III, IV) do perfil radial de aplicaçaõ de água do aspersora PLONA RL250.

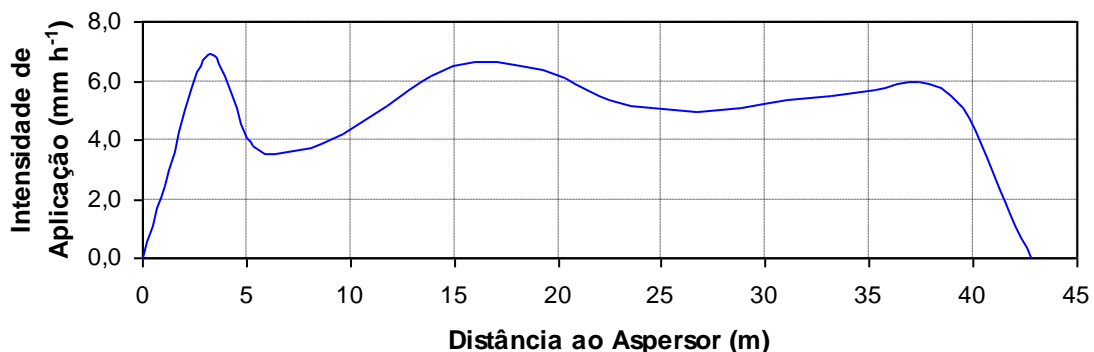
ra		0,025	0,075	0,125	0,175	0,225	0,275	0,325	0,375	0,425	0,475
ia	I	0,224	0,646	0,445	0,480	0,621	0,774	0,880	0,923	0,937	0,931
	II	0,483	1,369	0,746	0,720	0,837	1,014	1,214	1,309	1,290	1,206
	III	0,453	0,721	0,652	0,834	1,050	1,148	1,093	0,976	0,956	1,015
	IV	0,501	1,260	0,899	0,942	1,272	1,331	1,457	1,455	1,372	1,237
ra		0,525	0,575	0,625	0,675	0,725	0,775	0,825	0,875	0,925	0,975
ia	I	0,926	0,921	0,940	0,995	1,065	1,125	1,257	1,423	1,521	0,444
	II	1,061	1,004	0,973	0,999	1,059	1,088	1,129	1,174	1,003	0,312
	III	1,044	1,044	1,086	1,115	1,209	1,232	1,214	1,198	0,921	0,221
	IV	1,144	1,084	1,078	1,109	1,117	1,122	1,090	0,975	0,640	0,155

Como verificado na Tabela 1, os perfis radiais adimensionais têm sua ocorrência limitada a condições operacionais específicas, a exemplo do perfil típico IV que ocorre em maior frequência para pressões maiores que 392 kPa e bocais menores que 22 x 6 mm. Solomon & Bezdek (1980) e Prado & Colombo (2005) ao agrupar os perfis radiais adimensionais de aplicaçaõ de água, respectivamente, de um canhão hidráulico Rain Bird 103 e um canhão hidráulico PLONA-RL300 também observaram esta ocorrência. Este comportamento é interessante, pois para condições intermediárias não ensaiadas pode-se usar o perfil típico que ocorre naquele intervalo, por exemplo, para o bocal 22 x 6 mm na pressão de serviço de 539 kPa (55 m.c.a.) é possível adotar o perfil típico III para representar esta condição operacional e com uma estimativa dos valores de vazão e raio de alcance, dados pelas expressões 10 e 11, transformar este perfil para sua forma dimensional.

$$R = -0,00006p^2 + 0,0561p + 0,0023p \cdot b - 0,0663b^2 + 2,5858b - 15,0104 \quad (r^2 = 0,9996) \quad (10)$$

$$Q = 0,008464 \cdot b^{1,7613} \cdot p^{0,4937} \quad (r^2 = 0,9991) \quad (11)$$

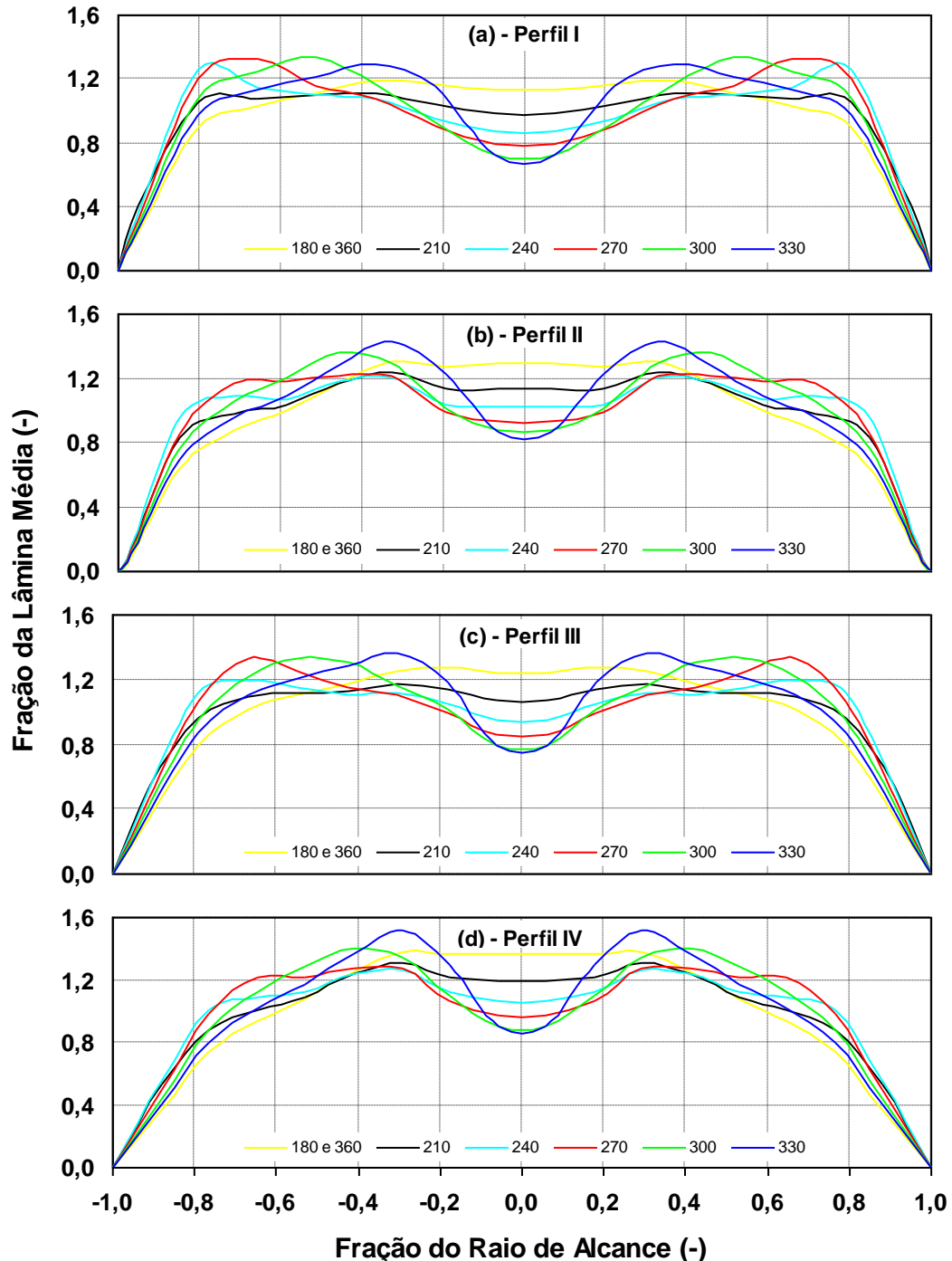
em que, b é o diâmetro (mm) do bocal principal; e p a pressão (kPa) de serviço do aspersora.



**Figura 2.** Perfil radial de aplicaçaõ de água do aspersora PLONA-RL250 operando com os bocais 18 x 6 mm e na pressão de serviço de 490 kPa.



Na Figura 3 são apresentados os perfis móveis de aplicação de água em função da velocidade de  $50 \text{ m h}^{-1}$  e do ângulo de giro do aspersor, simulados a partir dos quatro perfis típicos do aspersor PLONA-RL250. Estes perfis móveis, expressos em termos da fração do raio de alcance e da lâmina média aplicada, simulam, na ausência de ventos, as lâminas que seriam aplicadas em coletores dispostos perpendicularmente à trajetória de deslocamento do aspersor.



**Figura 3.** Perfis móveis de aplicação de água em função do ângulo de giro para as quatro formas geométricas do perfil adimensional I (a), II (b), III (c) e IV (d) do aspersor PLONA-RL250.

Considerando as quatro formas geométricas dos perfis adimensionais de aplicação de água do aspersor PLONA-RL250, operando com ângulo de giro inferior a  $360^\circ$ , verifica-se, na Figura 3, que o perfil móvel de aplicação de água, gerado com o ângulo de giro de  $210^\circ$ , apresenta a forma geométrica mais uniforme em relação aos demais perfis de aplicação de água. Estes resultados estão de acordo com as observações de efetuadas por Keller & Bliesner (1990), para um perfil estacionário de aplicação de água de formato geométrico uniforme. Também é observado que, os perfis móveis de aplicação de água com formatos geométricos mais desuniformes são os gerados pelos ângulos de  $300^\circ$  e  $330^\circ$ .

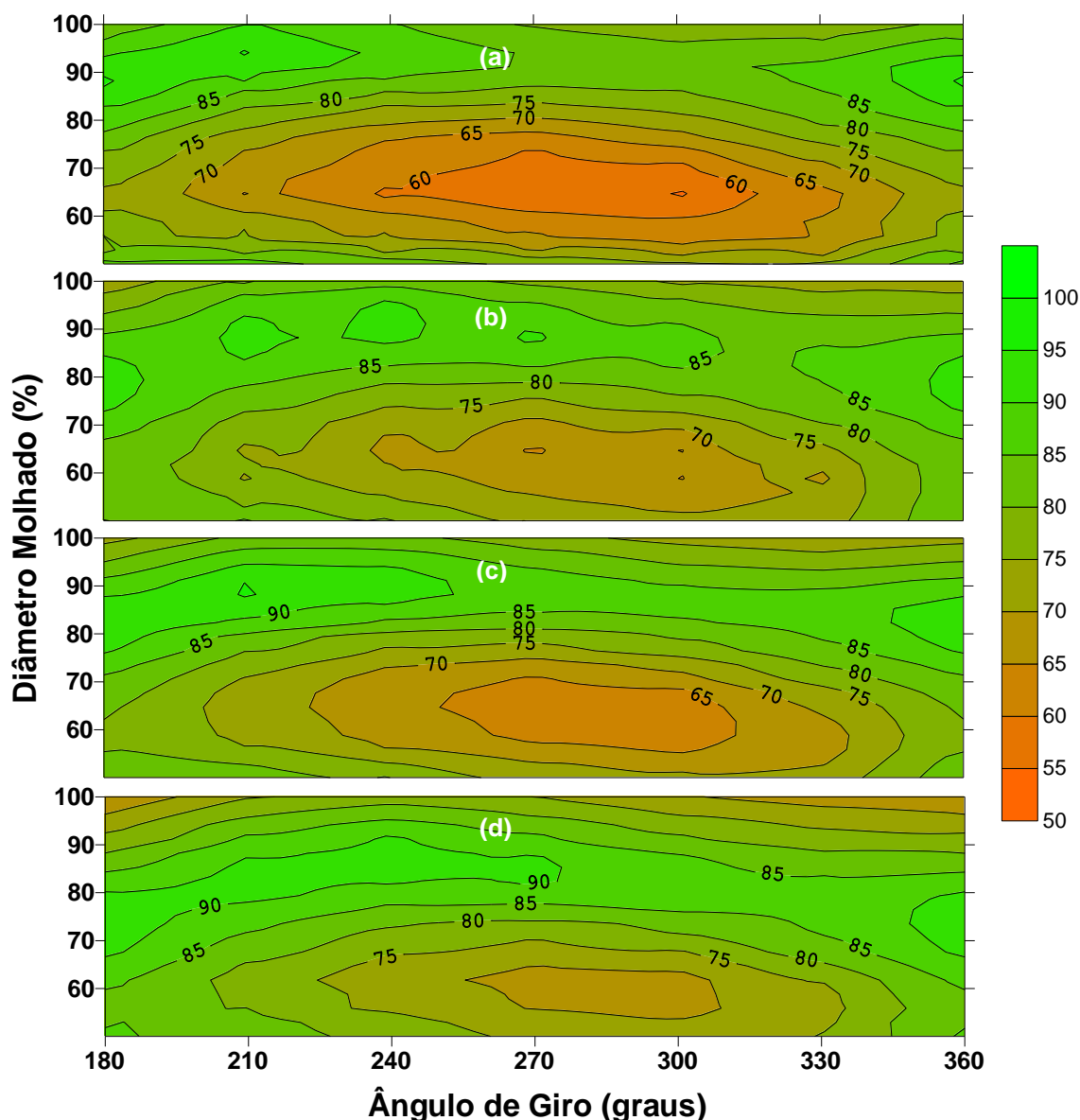
A sobreposição lateral de dois perfis móveis de aplicação de água do aspersor (Figura 3), movimentando-se com mesma velocidade ao longo de carreadores adjacentes, permite gerar as lâminas de irrigação aplicadas para a determinação dos valores de uniformidade de aplicação de água da Figura 4. Nesta figura são apresentados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), simulados para equipamentos autopropelidos com o aspersor PLONA-RL250, operando com diferentes regulagens do mecanismo setorial e em diferentes espaçamentos entre carreadores, expressos como porcentagem do diâmetro molhado do aspersor. Os valores de CUC, obtidos com diferentes combinações de pressão e diâmetro de bocais, foram agrupados conforme o tipo do perfil (Tabela 1).

Nos valores de CUC simulados, obtidos para os perfis I, II e III (Figura 4a, 4b e 4c), verifica-se que, na ausência de ventos, independentemente do ângulo de giro, os melhores espaçamentos entre carreadores situam-se na faixa de 80 a 90% do diâmetro molhado do aspersor. No caso do perfil típico IV (Figura 4d), estes valores encontram-se entre 70 e 80% do diâmetro molhado.

Normalmente sugere-se, na literatura para ausência de ventos (Bernardo et al., 2005; Keller & Bliesner, 1990), valores de espaçamento entre carreadores em torno de 80% do diâmetro molhado do aspersor. Entretanto, observa-se que, para os perfis típicos I, II e III, em baixas condições de vento podem ser utilizados valores de espaçamentos entre carreadores maiores. Desta forma, para a recomendação de espaçamento entre carreadores, deve-se analisar a distribuição de água produzida pelo aspersor em função do ângulo de giro do aspersor. Bittinger & Longenbaugh (1962) fazendo esta análise mostram que aspersores, em sistemas autopropelidos de irrigação, operando com ângulo de giro de  $360^\circ$  e com perfil radial de aplicação de água com formato triangular (perfil B de Christiansen) e elíptico (perfil C de Christiansen), respectivamente, espaçamentos entre carreadores iguais a 50% e 70% do diâmetro molhado produzem os melhores valores de uniformidade de distribuição de água.

Analisando os valores de CUC gerados em função dos diferentes ângulos de giro, observa-se na Figura 4 que, para os quatro perfis típicos do aspersor PLONA-RL250, os menores valores de CUC foram obtidos para ângulo de giro próximo a  $300^\circ$ . Para ângulos de giro entre  $210^\circ$  e  $240^\circ$ , observa-se os melhores valores de CUC. Deste modo, se a intensidade de precipitação do aspersor, operando nesta faixa de ângulo de giro, não exceder a capacidade de infiltração de água do solo é mais adequado regular o setor do canhão para estes valores, ao invés de ângulos maiores.

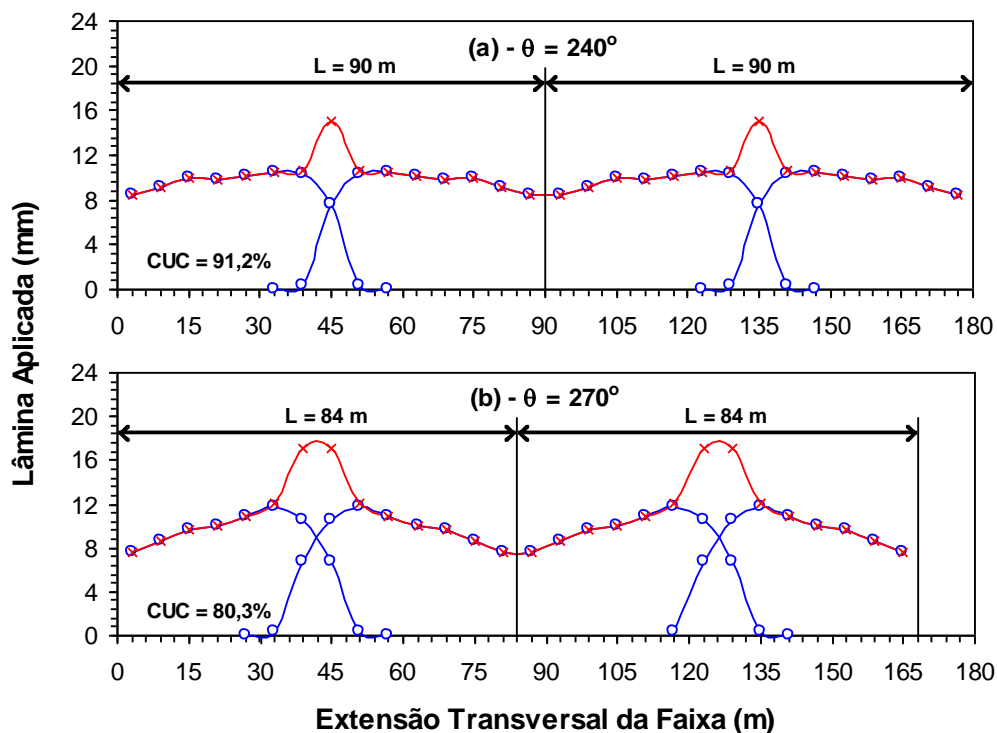
Na prática, normalmente, os projetistas de sistemas autopropelidos de irrigação recomendam, aos usuários do sistema de irrigação, a adoção do ângulo de giro de  $270^\circ$  (Rocha et al., 2005). Todavia, regular o canhão hidráulico para um ângulo de giro igual a  $240^\circ$  proporciona uma lâmina aplicada mais uniforme.



**Figura 4.** Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) em função do ângulo de giro e do espaçamento entre carregadores para as quatro formas geométricas do perfil adimensional I (a), II (b), III (c) e IV (d) do aspersor PLONA-RL250.

Na Figura 5 é apresentada a sobreposição lateral dos perfis móveis de aplicação de água (Figura 5a) utilizando as recomendações usualmente adotadas, com espaçamento de 84 m (80% do diâmetro molhado) e ângulo de giro de 270°, e as recomendações seguindo a análise da Figura 4, com espaçamento de 90 m (85% do diâmetro molhado) e ângulo de giro de 240°, para o aspersor PLONA-RL250 operando com os bocais de 20 x 6 mm, pressão de serviço de 588 kPa e velocidade de deslocamento de 50 m h<sup>-1</sup>.

Observa-se, na Figura 5, que proceder às recomendações de espaçamento entre carregadores e ângulo de giro do aspersor, com base nas características de distribuição de água do aspersor, leva a condições de funcionamento do equipamento mais adequadas de uniformidade de aplicação de água.



**Figura 5.** Sobreposição lateral dos perfis móveis de aplicação de água, para uma largura de faixa de 90 m e ângulo de giro de  $240^\circ$  (a) e para uma largura de faixa de 84 m e ângulo de giro de  $270^\circ$  (b).

## 6 CONCLUSÕES

*i)* espaçamentos de carregadores compreendidos entre 80 e 90% do diâmetro molhado do aspersor resultam em adequados valores de CUC, para os perfis I, II e III; *ii)* espaçamentos de carregadores entre 70 e 80% geram adequados valores de CUC para o perfil IV e; *iii)* ângulos de giro entre  $210^\circ$  e  $240^\circ$  geram melhores valores uniformidade de aplicação de água.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S., SOARES, A. A., MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2005. 611 p.

BITTINGER, M. W.; LONGENBAUGH, R. A. Theoretical distribution of water from a moving irrigation sprinkler. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 5, n. 1, p. 26-30, Jan./Feb. 1962.

CAMPOS FILHO, F. F. **Algoritmos numéricos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001. 383 p.

CARRIÓN, P.; TARJUELO, J.M.; MONTERO, J. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation. I Description of model. **Irrigation Science**, v.20, p.74-84, May 2001.

CÉSAR, J. H. F. et al. Avaliação técnica de um aspersor canhão do tipo turbina. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 932 – 941, jul./ago. 2004.

CLEMMENS, A.J. Irrigation uniformity relationships form irrigation system management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.117, n.5, p.682-699, Sept./Oct. 1991.

COLLIER, R. L.; ROCHESTER, E. W. Water application uniformity of hose towed traveler irrigators. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 23, n. 5, p. 1135-1138, Mar./Apr. 1980.

COLOMBO, A. **Simulação do desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido de irrigação**. 1991. 120p. (Dissertação de Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. 2002. 110 p. Tese (Doutorado em Irrigação de Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: AnaviBook; Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Autopropelido. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. p. 179-207.

MONTERO, J.; TARJUELO, J. M.; CARRIÓN, P. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation. II Calibration and validation of the model. **Irrigation Science**, New York, v. 20, n. 2, p. 85-98, May 2001.

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

PRADO, G; COLOMBO, A.; VILELA, L. A. Uniformidade de distribuição de água do aspersor PLONA-RL300 em sistemas autopropelidos de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2004.

ROCHA, F. A. **Desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido em condições de campo**. 2000. 80p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras 2000.

ROCHA, F. A. et al. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 96-106, jan./abr. 2005.

SHULL, H.; DYLLA, A. S. Traveling gun application uniformity in high winds. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 254-258, Nov./Dec. 1976.

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.

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

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.