

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ÁGUA APLICADA POR EQUIPAMENTOS AUTOPROPELIDOS DE IRRIGAÇÃO - PARTE I: MODELAGEM COM O SIMULASOFT

Giuliani do Prado; Alberto Colombo

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

1 RESUMO

Um aplicativo computacional, escrito em *Visual Basic 6*, que simula, na condição de ausência de ventos, a distribuição espacial de água de equipamentos autopropelidos de irrigação é apresentado. A aplicação de água, no centro e ao longo do comprimento de toda a faixa molhada, é simulada em função do (i) modelo do aspersor utilizado (canhão PLONA[®] RL300), (ii) das condições operacionais do aspersor (diâmetro de bocal, pressão de serviço e ângulo de giro), (iii) da geometria da área (espaçamento entre carreadores, comprimento dos carreadores e comprimento da faixa efetivamente irrigada) e dos (iv) tempos de parada nas extremidades dos carreadores. As simulações executadas pelo aplicativo permitem identificar as condições operacionais dos sistemas autopropelidos de irrigação que proporcionam uma melhor uniformidade de aplicação de água.

UNITERMOS: aplicativo computacional, carretel enrolador, uniformidade da irrigação

PRADO, G. do; COLOMBO, A. SPATIAL DISTRIBUTION OF WATER APPLIED BY TRAVELER IRRIGATION MACHINES – PART I: MODELLING WITH SIMULASOFT

2 ABSTRACT

A computer program in *Visual Basic 6* that simulates, for low wind conditions, the spatial distribution of water applied by traveling irrigation machines is presented. Irrigation water application in the central part and along all the length of the wetted path is simulated considering the following: (i) gun sprinkler model (PLONA[®] model RL300), (ii) sprinkler operational condition (nozzle size, working pressure and wetted sector), (iii) field geometry (travel path length and length of the effectively irrigated strip), and (iv) standing times at the end of the travel path. Water distribution simulations allow identifying operational conditions of traveling irrigation machines that result in better water application uniformity.

KEYWORDS: software, water reel machine, irrigation uniformity

3 INTRODUÇÃO

A uniformidade de aplicação de água é um dos parâmetros que refletem a qualidade do sistema de irrigação e o incremento em produtividade para culturas irrigadas (Frizzzone &

Dourado Neto, 2003). Deste modo, este parâmetro deve ser levado em consideração na seleção das condições operacionais e da disposição dos equipamentos de irrigação no campo.

A uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por aspersão é afetada por fatores climáticos e operacionais. De acordo com Shull & Dylla (1976), Collier & Rochester (1980), Colombo (1991), Smith et al. (2002) e Silva et al. (2007), os principais fatores que afetam a uniformidade de aplicação de água dos equipamentos autopropelidos são as condições de vento (direção e velocidade), o espaçamento entre as faixas irrigadas, o perfil radial de distribuição de água do aspersor, que é determinado pela combinação de pressão de serviço e diâmetro de bocal do aspersor, o setor de operação do aspersor e a uniformidade da sua velocidade de deslocamento ao longo dos carregadores.

Em função dos vários fatores que influenciam na uniformidade de aplicação de água, a realização de ensaios de campo, para avaliação da distribuição de água em sistemas de irrigação, é 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). Por outro lado, os modelos matemáticos de simulação da uniformidade de aplicação de água possibilitam, de maneira rápida, efetuar a análise do desempenho de sistemas de irrigação nas mais diferentes condições operacionais desejadas (Smith et al., 2008).

Na irrigação por aspersão, os modelos de simulação da uniformidade de aplicação de água são desenvolvidos com base no perfil radial estacionário dos aspersores. Para o caso específico dos equipamentos autopropelidos, operando em ausência de ventos, os modelos desenvolvidos por Rolland (1982) e Rolim & Pereira (2005) demonstram que o conhecimento das características do perfil radial estacionário de aplicação de água de um aspersor, em diferentes condições operacionais, caracterizadas pelo tipo de bocal, pressão de serviço e ângulo de giro do mesmo, permite determinar, para diferentes espaçamentos entre carregadores, as lâminas aplicadas em toda a faixa irrigada por este aspersor.

Colombo (1991) desenvolveu um programa que requer o conhecimento da malha que representa a distribuição espacial de água ao redor de um aspersor estacionário, operando com ou sem vento, para simular as lâminas aplicadas em toda a área irrigada por um equipamento autopropelido.

Newell et al. (2003) desenvolveram um aplicativo no qual os parâmetros do aspersor, necessários à simulação, são obtidos por um processo simplificado, que dispensa instalações especiais para ensaio do aspersor estacionário, envolvendo apenas ensaios de campo de equipamentos autopropelidos.

Tendo em vista a necessidade de incrementar a eficiência na utilização de equipamentos autopropelidos, através do desenvolvimento de estratégias baseadas nas características reais de distribuição de água dos modelos de aspersores disponíveis no mercado nacional, desenvolveu-se um modelo computacional que permite (i) interpolar o perfil radial de aplicação de água do aspersor PLONA[®] RL300, para condições operacionais diferentes daquelas observadas durante a determinação do seu perfil radial estacionário, e (ii) utilizar o perfil radial estacionário de aplicação de água para simular a distribuição espacial da água de equipamentos autopropelidos operando com este aspersor.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Lâminas de água aplicadas por um aspersor isolado

O sistema cartesiano de coordenadas (x, y) mostrado na Figura 1, que tem o eixo x coincidente com a linha de deslocamento do aspersor, tem como origem (x = 0, y = 0) o ponto

de início do deslocamento do aspersor. De acordo com este sistema, o ponto de término do deslocamento do aspersor no carreador é representado pelas coordenadas $x = x_p$ e $y = 0$.

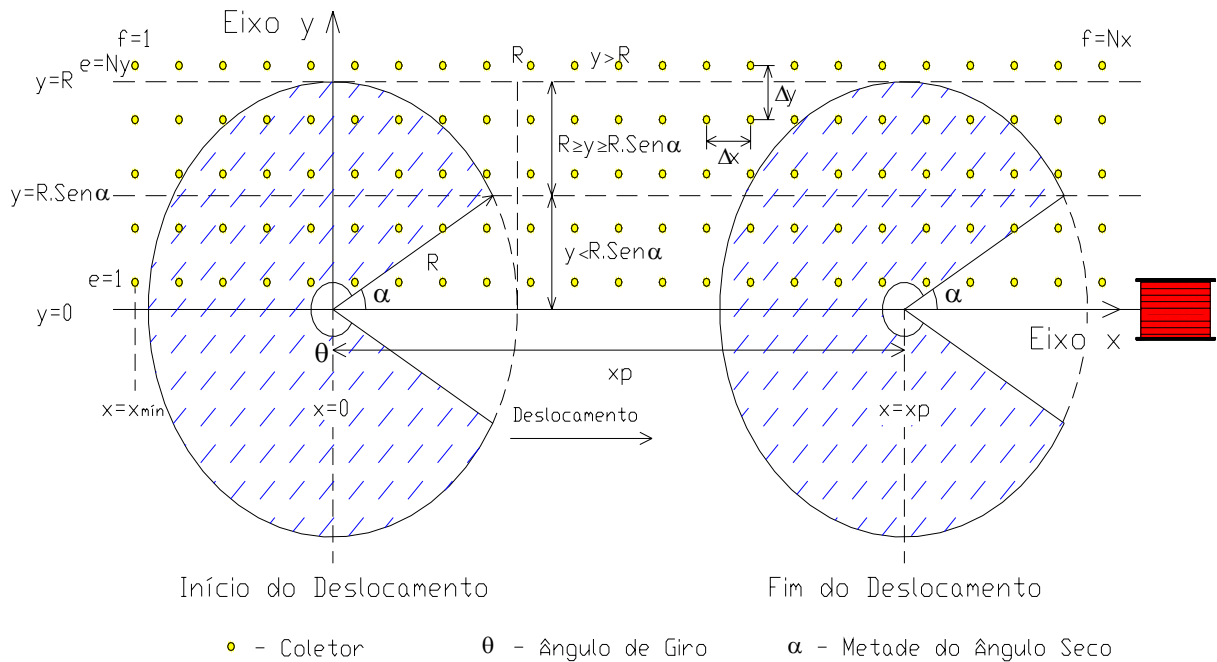


Figura 1. Elementos geométricos considerados na simulação da distribuição espacial da lâmina de água aplicada na faixa irrigada pelo deslocamento linear de um aspersor isolado.

Na Figura 1 está esquematizada uma malha de pontos de amostragem (coletores de água) identificados pelos índices “e” e “f”. Nesta malha, as linhas transversais ao eixo de deslocamento do aspersor apresentam N_y pontos de amostragem ($1 \leq e \leq N_y$), dispostos em um espaçamento longitudinal regular Δy . Posicionando-se os coletores de índice $e = 1$ a uma distância de $0,5\Delta y$ do eixo de deslocamento do aspersor, o número, N_y , de pontos de amostragem necessário para abranger metade da extensão transversal da faixa molhada pelo aspersor é:

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

em que, N_y é o número de pontos de amostragem considerados nas linhas transversais; R o raio de alcance do aspersor (m); Δy o espaçamento transversal entre coletores de água (m); $\text{Int}(\square)$ a função matemática que retorna a parte inteira de $\square$.

Para o caso particular do aspersor PLONA[®] RL300, os valores de R , para diferentes combinações de diâmetro de bocal e pressão de serviço, foram calculados conforme metodologia descrita por Prado & Colombo (2005).

Com o objetivo de representar adequadamente os efeitos provocados pelo início e fim do deslocamento do aspersor, foram consideradas N_x linhas transversais ($1 \leq f \leq N_x$) de pontos de amostragem, com espaçamento longitudinal regular (Δx em m). O número N_x de

linhas transversais necessários para representar toda extensão longitudinal da faixa molhada é dado por:

$$N_x = \text{Int}\left(\frac{R}{\Delta x} + 1,5\right) + \text{Int}\left(\frac{x_p + R}{\Delta x} + 1,5\right) \quad (2)$$

em que, N_x é o número de linhas transversais na extensão longitudinal da faixa molhada; Δx o espaçamento longitudinal dos coletores (m); x_p a extensão longitudinal percorrida pelo aspersor ao longo do eixo x (m).

As coordenadas (x, y) correspondentes aos diferentes pontos de amostragem, identificados pelos índices “e, f”, são dadas pelas equações 3 e 4:

$$x = \left[f - \text{Int}\left(\frac{R}{\Delta x} + 1,5\right) - 0,5 \right] \cdot \Delta x \quad (3)$$

$$y = (e - 0,5) \cdot \Delta y \quad (4)$$

Foi considerado que a lâmina de água aplicada em cada ponto de amostragem poderia ser determinada pela soma de três parcelas distintas: (i) a lâmina aplicada no intervalo de tempo em que o aspersor opera sem deslocamento linear no início do carreador; (ii) a lâmina aplicada durante o deslocamento linear do aspersor, no intervalo de tempo correspondente ao tempo de molhamento do ponto considerado; e (iii) a lâmina aplicada durante o tempo de operação do aspersor estacionado no ponto de término do deslocamento linear do aspersor no carreador. Estas três parcelas são representadas na equação 5:

$$IM_{(e,f)} = T_{pi} \cdot i(r1) + \int_0^{TM} i(s(t)) \cdot dt + T_{pf} \cdot i(r2) \quad (5)$$

em que, $IM_{(e,f)}$ é a lâmina aplicada em cada coletor de índices “e” e “f” (mm); $i(\square)$ a função matemática que retorna a intensidade de precipitação em função da distância radial $\square$ do coletor de índices “e” e “f” em relação ao aspersor (mm h^{-1}); $r1$ a distância radial do coletor de índices “e” e “f” até o início do carreador (0, 0) (m); $r2$ a distância radial do coletor de índices “e” e “f” até o final do carreador (x_p , 0) (m); $s(t)$ a função matemática que retorna a distância radial do aspersor ao coletor “e, f”, durante o intervalo de tempo correspondente ao tempo de molhamento do deslocamento (m); T_{pi} o tempo de operação do aspersor estacionado no início do carreador (h); T_{pf} o tempo de operação do aspersor estacionado no final do carreador (h); TM o tempo de molhamento no coletor “e, f” durante o deslocamento do aspersor (h).

Nos intervalos de tempo correspondentes aos períodos de operação do aspersor estacionado nas extremidades do carreador (T_{pi} e T_{pf}), os valores das distâncias radiais ao aspersor, no ponto início ($r1$ em m) e no ponto de término do deslocamento ($r2$ em m) no carreador, foram calculados pelas seguintes expressões:

$$r1 = \begin{cases} \rightarrow r1 = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \text{Para : } y < R \cdot \sin \alpha \begin{cases} \text{se : } y \cdot \cotg \alpha < x < \sqrt{R^2 - y^2} \\ \rightarrow r1 = 2 \cdot R \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

$$r2 = \begin{cases} \rightarrow r2 = \sqrt{(x - xp)^2 + y^2} \\ \text{Para : } y < R \cdot \sin \alpha \begin{cases} \text{se : } xp + y \cdot \cotg \alpha < x < xp + \sqrt{R^2 - y^2} \\ \rightarrow r2 = 2 \cdot R \end{cases} \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{com : } \alpha = \frac{360^\circ - \theta}{2}$$

em que, θ é o ângulo de giro ($180 \leq \theta \leq 360^\circ$) do aspersor (graus).

Nas equações 6 e 7, o valor $2R$ atribuído às variáveis $r1$ e $r2$ não tem significado físico, mas atende ao objetivo de atribuir uma intensidade nula de aplicação de água no coletor considerado. Este fato pode ser comprovado na equação 8, que descreve o perfil radial estacionário de aplicação de água, intensidade de precipitação ($i(r)$ em mm h^{-1}) em função da distância radial (r em m), do aspersor PLONA[®] RL300:

$$i(r) = \begin{cases} \text{Para : } 0 \leq r < 0,025R \rightarrow i(r) = \left(\frac{40000 \cdot Q \cdot ia_1 \cdot r}{\pi \cdot R^3} \right) \cdot \frac{360}{\theta} \\ \text{Para : } 0,025R \leq r \leq 0,975R \\ \rightarrow i(r) = \left\{ 20000 \cdot Q \cdot \frac{0,05 \cdot ia_j \cdot R + [r \cdot (ia_{j+1} - ia_j) + ra_j \cdot R \cdot (ia_j - ia_{j+1})]}{\pi \cdot R^3} \right\} \cdot \frac{360}{\theta} \\ \text{com : } j = \text{Int} \left[20 \cdot \left(\frac{r}{R} - 0,025 \right) + 1 \right] \\ \text{Para : } 0,975R < r \leq R \rightarrow i(r) = \left[\frac{40000 \cdot Q \cdot ia_{20} \cdot (R - r)}{\pi \cdot R^3} \right] \cdot \frac{360}{\theta} \\ \text{Para : } r > R \rightarrow i(r) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

em que, Q é a vazão do aspersor ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$); ia_j a intensidade adimensional de aplicação de água na distância adimensional j ; j o índice ($1 < j < 20$) que corresponde a uma dada fração do raio de alcance do aspersor (desde $0,025R$ até $0,975R$ em espaços regulares de $0,05R$).

Para o caso particular do aspersor PLONA[®] RL300, os valores de vazão e intensidade adimensional de precipitação, para diferentes combinações de diâmetro de bocal e pressão de serviço, foram calculados conforme metodologia descrita por Prado & Colombo (2005).

A lâmina aplicada durante o tempo de molhamento do aspersor foi calculada assumindo uma velocidade constante de deslocamento do aspersor. Em cada coletor, o tempo de molhamento durante o deslocamento do aspersor (TM), que é o intervalo de tempo transcorrido entre o início e o final da aplicação de água, com o aspersor em deslocamento, no ponto considerado, foi calculado através das variáveis auxiliares Wa e Wb :

$$TM = \frac{Wa - Wb}{V} \quad (9)$$

em que, V é a velocidade de deslocamento do aspersor no carreador (m.h^{-1}).

$$W_a = \begin{cases} \text{Para : } y \geq R \rightarrow W_a = 0 \\ \text{Para : } y < R \begin{cases} \rightarrow LC = \sqrt{R^2 - y^2} \\ \text{se : } R \cdot \text{sen}\alpha \leq y < R \rightarrow LS = \sqrt{R^2 - y^2} \\ \text{se : } y < R \cdot \text{sen}\alpha \rightarrow LS = y \cdot \cot \alpha \\ \text{se : } x \leq -LC \text{ ou } x > xp + LS \rightarrow W_a = 0 \\ \text{se : } -LC < x \leq LS \rightarrow W_a = x \\ \text{se : } LS < x \leq xp + LS \rightarrow W_a = LS \end{cases} \end{cases} \quad (10)$$

$$W_b = \begin{cases} \text{Para : } y \geq R \rightarrow W_b = 0 \\ \text{Para : } y < R \begin{cases} \rightarrow LC = \sqrt{R^2 - y^2} \\ \text{se : } R \cdot \text{sen}\alpha \leq y < R \rightarrow LS = \sqrt{R^2 - y^2} \\ \text{se : } y < R \cdot \text{sen}\alpha \rightarrow LS = y \cdot \cot \alpha \\ \text{se : } x \leq -LC \text{ ou } x > xp + LS \rightarrow W_b = 0 \\ \text{se : } xp - LC < x \leq xp + LS \rightarrow W_b = x - xp \\ \text{se : } -LC < x \leq xp - LC \rightarrow W_b = -LC \end{cases} \end{cases} \quad (11)$$

Na Figura 2 apresenta-se um esquema das variáveis auxiliares W_a e W_b . Estas variáveis referem-se um sistema cartesiano auxiliar, que tem sempre o aspersor na sua origem ($W = 0, y = 0$). No instante em que ocorre o início da aplicação de água no coletor de coordenada (x, y) , com o aspersor em deslocamento linear, este coletor passa a ocupar, no sistema cartesiano auxiliar, a coordenada (W_a, y) e, ao final do tempo de aplicação, este mesmo coletor passa a ocupar a coordenada (W_b, y) .

No intervalo de tempo $0 \leq t \leq T_M$, a função matemática que retorna a distância radial do aspersor até o coletor “ x, y ” (veja equação 5) é representada por:

$$s(t) = \sqrt{y^2 + (W_a - V \cdot t)^2} \quad (12)$$

A integral da equação 5 é resolvida pelo método de Simpson com 40 intervalos. Na solução, desta integral, conforme indicado na equação 13, aplicam-se as funções matemáticas descritas pela equação 12 (distância radial até o aspersor, em função do tempo) e pela equação 8 (intensidade de precipitação em função da distância radial até o aspersor).

$$\int_0^{T_M} i(r) \cdot dt = \frac{\Delta t}{3} \cdot \left\{ \sum_{k=0}^{19} \left[i \left(\sqrt{y^2 + (W_a - 2k \cdot \Delta t \cdot V)^2} \right) + \dots \right. \right. \\ \left. \dots + 4 \cdot i \left(\sqrt{y^2 + [W_a - (2k+1) \cdot \Delta t \cdot V]^2} \right) + \dots \right. \\ \left. \left. \dots + i \left(\sqrt{y^2 + [W_a - (2k+2) \cdot \Delta t \cdot V]^2} \right) \right] \right\} \quad \text{com : } \Delta t = \frac{T_M}{40} \quad (13)$$

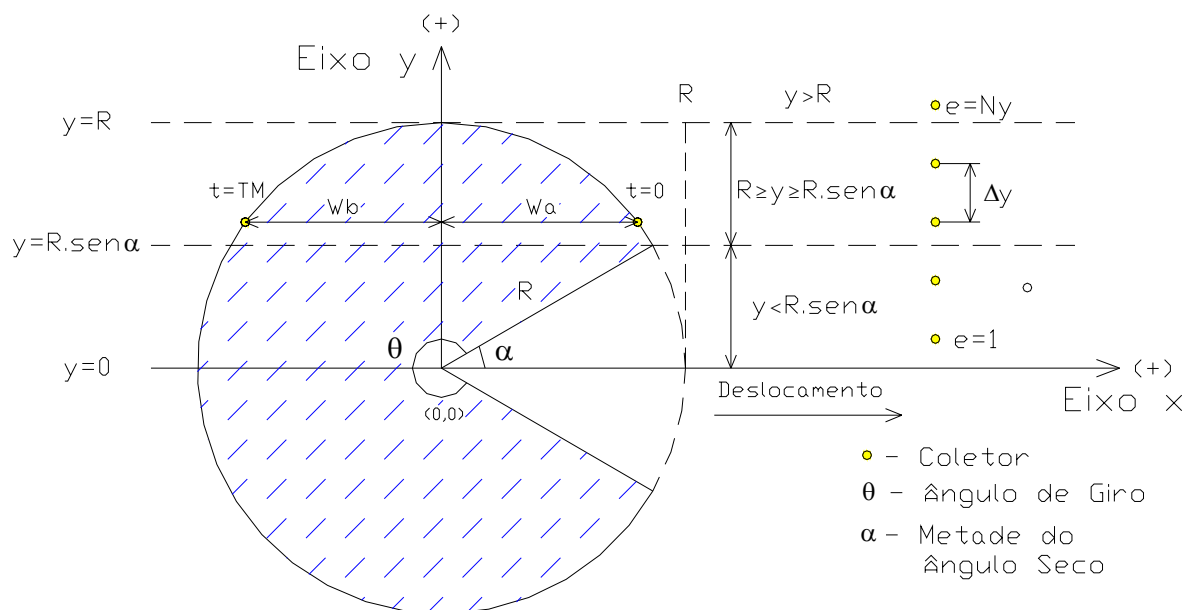


Figura 2. Representação do sistema cartesiano auxiliar (W, y) e das variáveis W = Wa, no início do tempo de molhamento, e W = Wb, ao término do tempo de molhamento.

4.2 Sobreposição e uniformidade das lâminas de irrigação

Na malha de coletores esquematizados na Figura 3, os pontos de amostragem são identificados pelos índices “e” e “f”. Nesta malha, o índice “f” assume os mesmos valores descritos anteriormente ($1 \leq f \leq Nx$, com Nx determinado pela equação 2). Por outro lado, como são considerados apenas valores de espaçamento entre carregadores (E em m) que são múltiplos inteiros de Δy , o índice “e” pode assumir valores entre 1 e Ns , sendo Ns determinado pela equação 14.

$$Ns = \frac{E}{\Delta y} \quad (14)$$

Considerando apenas valores de espaçamento entre carregadores (E) compreendidos entre R e $1,8R$ e que estas faixas são formadas por aspersores idênticos, operando nas mesmas condições, com deslocamento linear, com mesma velocidade, ao longo de carregadores de mesmo comprimento, as lâminas resultantes da sobreposição lateral de faixas molhadas adjacentes são dadas por:

$$IS_{(e',f)} = ID + IE \quad \text{com :}$$

$$ID = \begin{cases} \text{Para : } e' \leq Ny \rightarrow ID = IM_{(e',f)} \\ \text{Para : } e' > Ny \rightarrow ID = 0 \end{cases}$$

$$IE = \begin{cases} \text{Para : } e' > (Ns - Ny) \rightarrow IE = IM_{((Ns-e')+1,f)} \\ \text{Para : } e' \leq (Ns - Ny) \rightarrow IE = 0 \end{cases} \quad (15)$$

com : $1 \leq e \leq Ny$, $1 \leq f \leq Nx$ e $1 \leq e' \leq Ns$

em que, $IS_{(e',f)}$ é a lâmina resultante da sobreposição lateral de faixas molhadas adjacentes (mm).

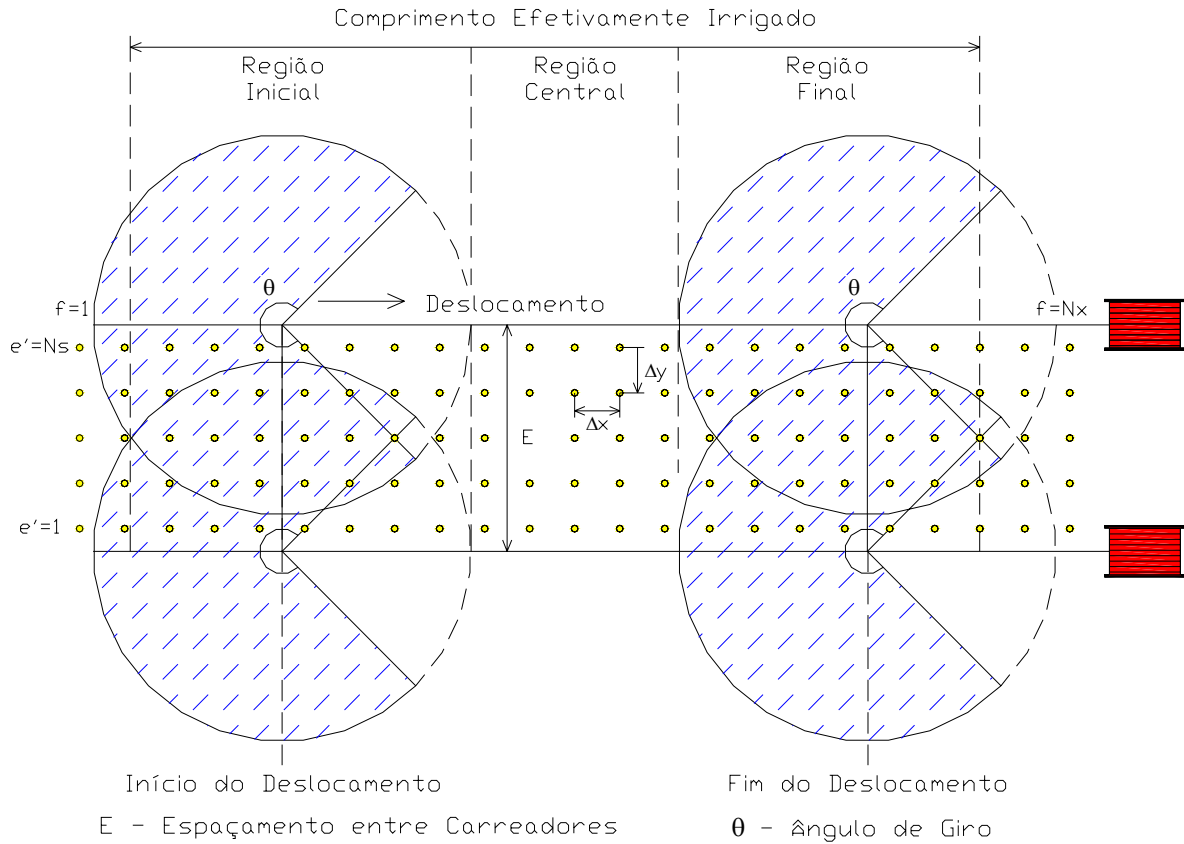


Figura 3. Esquema da malha de pontos de amostragem para cálculo da uniformidade de aplicação de água em diferentes espaçamentos entre carreadores (E) e em diferentes regiões da faixa molhada.

Para permitir a análise de uniformidade de aplicação de água em toda a faixa molhada, ou apenas em parte dela (na região inicial, central, ou final da faixa irrigada), utiliza-se a coordenada x para definir os limites inferior (Li) e superior (Ls) do valor do índice f dos coletores (e' , f) que serão considerados no cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC em %):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{e'=1}^{Ns} \sum_{f=Li}^{Ls} |IS_{(e',f)} - \overline{IS}|}{Ns \cdot [(Ls - Li) + 1]} \right) \cdot 100 \quad (16)$$

em que, $\overline{IS}$ é a lâmina média na região selecionada (mm), dada por:

$$\overline{IS} = \frac{\sum_{e'=1}^{Ns} \sum_{f=Li}^{Ls} IS_{(e',f)}}{Ns \cdot [(Ls - Li) + 1]} \quad (17)$$

Sendo o limite inferior (L_i) e o limite superior (L_s) do índice f , estabelecidos pela variação desejada do valor da coordenada x na região selecionada ($x_i \leq x \leq x_s$), dados por:

$$L_i = \begin{cases} \text{Int}\left(\frac{R}{\Delta x} + 1,5\right) - \text{Int}\left(\frac{|x_i|}{\Delta x} + 0,5\right) + 1 & \text{com } x_i \leq 0 \\ \text{Int}\left(\frac{R}{\Delta x} + 1,5\right) + \text{Int}\left(\frac{x_i}{\Delta x} + 0,5\right) + 1 & \text{com } x_i > 0 \end{cases} \quad (18)$$

$$L_s = \text{Int}\left(\frac{R}{\Delta x} + 1,5\right) + \text{Int}\left(\frac{x_s}{\Delta x} + 0,5\right) + 1 \quad \text{com } x_s > 0 \quad (19)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do modelo matemático descrito, foi desenvolvido um aplicativo em linguagem de programação *Visual Basic 6*, denominado *SimulaSoft - Versão 1.0*, que é compatível com o ambiente operacional Windows. Este aplicativo simula, para uma condição de ausência de vento, a distribuição espacial de água aplicada na superfície do solo por sistemas de irrigação tipo autopropelido equipados com o aspersor PLONA[®] RL300. O arquivo de instalação, ajudas, figuras e demais utilitários para as configurações do programa ocupam um espaço de aproximadamente 13 Megabytes.

O programa consta de dois menus, um para proceder às simulações da uniformidade de aplicação de água e outro com os tópicos de ajuda (Figura 4a). No menu Simulações-RL300, o usuário seleciona, com uma barra de deslocamento horizontal, uma pressão de serviço entre 294 e 686 kPa, e escolhe uma das combinações disponíveis de bocais do aspersor (22 x 6, 24 x 6, 26 x 6, 28 x 6, 30 x 6, 32 x 6, 34 x 6, 36 x 6 ou 38 x 6 mm). Em função dos parâmetros selecionados, o programa determina a vazão, o raio de alcance e o perfil radial de distribuição de água do aspersor PLONA[®] RL300 (Figura 4b).

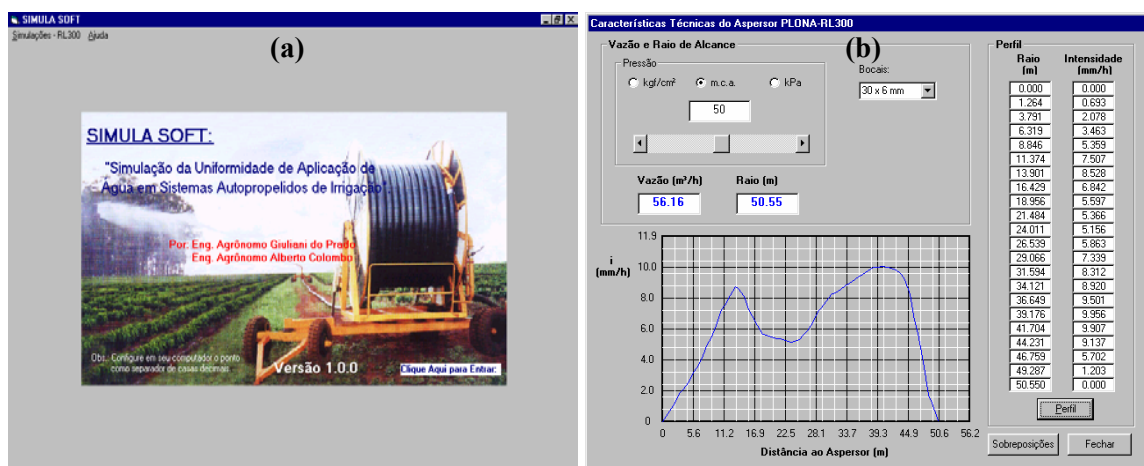


Figura 4. Entrada e janela principal com menus do programa (a) e janela do aplicativo que apresenta, em função das características operacionais (bocal principal versus pressão de serviço), a vazão, o raio de alcance e o perfil radial do aspersor PLONA[®] RL300.

Sequencialmente à janela com as características técnicas do aspersor, é calculado o perfil transversal de aplicação de água do aspersor na região central da faixa irrigada (Figura 5a). Para tanto, o usuário deve informar o ângulo de giro do aspersor (180, 210, 240, 270, 300, 330 ou 360°) e a sua velocidade de deslocamento no carreador (qualquer valor entre 0 e 200 m h⁻¹).

A partir do perfil transversal de aplicação de água do aspersor, é calculada, para diversos espaçamentos entre carreadores (entre R e 1,8R), a uniformidade de aplicação das lâminas de irrigação. Estes valores são apresentados em termos gráficos e numéricos; posteriormente, o programa informa o valor de espaçamento entre carreadores que proporciona o maior valor de CUC (Figura 5b).

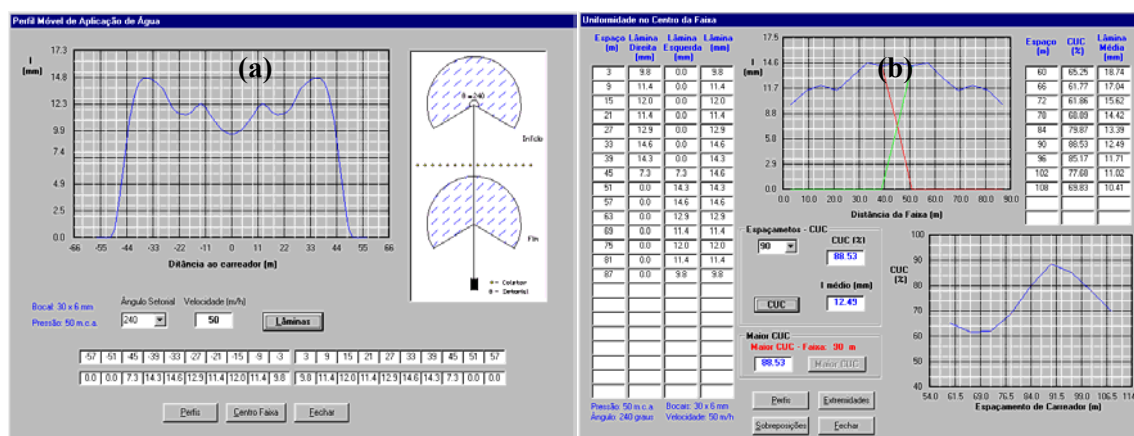


Figura 5. Janela para cálculo do perfil transversal de aplicação de água (a) e janela para cálculo do CUC no centro da faixa irrigada, para os diferentes espaçamentos entre carreadores (b).

Uma vez escolhido o espaçamento entre carreadores a ser adotado, o programa permite o cálculo do CUC para o início, fim e em toda a faixa irrigada (Figura 6a). Para estas determinações, é necessário especificar os pontos onde começa e termina a faixa irrigada e, também, à distância a ser percorrida pelo aspersor no carreador. O programa também permite que o usuário teste diferentes critérios para seleção dos tempos de parada nas extremidades da faixa irrigada. Para tanto, deve ser informado os valores desejados ou aceitar aqueles propostos pelo programa.

A metodologia utilizada para determinação das características técnicas do aspersor PLONA[®] RL300 e o processo de cálculo utilizado nas simulações da uniformidade de aplicação de água, são apresentados em um tópico de ajuda do programa, que pode ser acessado a partir da tecla F1, ou pelo menu de ajuda. Quando a ajuda do programa é acessada, o seu conteúdo é carregado em uma janela (padrão de ajuda do Windows) na qual são apresentados os tópicos disponíveis (Figura 6b). Pode-se, também, pesquisar os tópicos de ajuda com palavras chave.

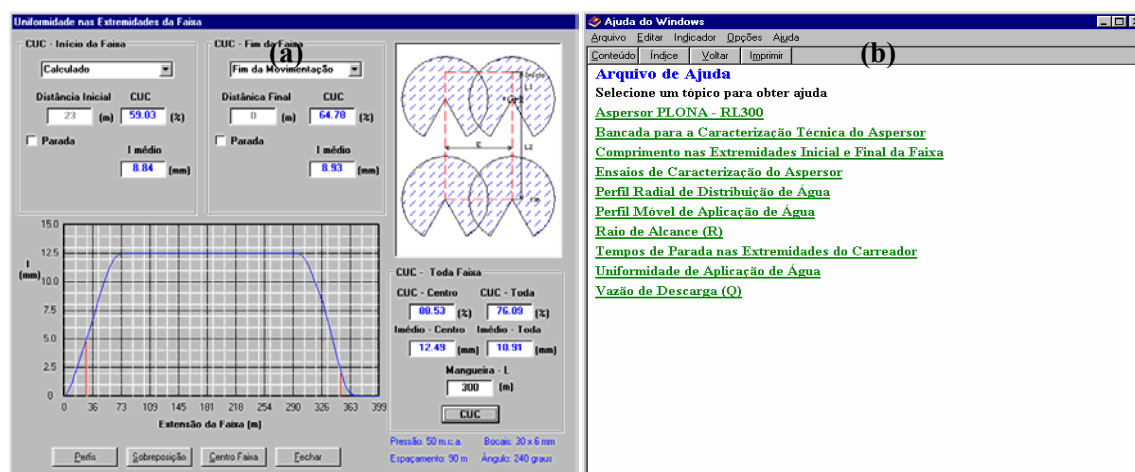


Figura 6. Janela do aplicativo para cálculo, no espaçamento entre carreadores selecionado, do CUC nas extremidades e em toda faixa (a) e janela principal do arquivo de ajuda (b).

6 CONCLUSÕES

- O aplicativo fornece, para diferentes combinações de diâmetro de bocais e pressão de serviço do aspersor PLONA[®] RL300, os valores de vazão aplicada, raio de alcance e o perfil radial de aplicação de água;
- O conhecimento dos valores de vazão, raio de alcance e do perfil radial estacionário de aplicação permite que o usuário selecione, com base no coeficiente de uniformidade de Christiansen, a combinação mais adequada de ângulo de giro do aspersor e espaçamento entre carreadores;
- O programa permite estabelecer os comprimentos iniciais e finais da faixa irrigada e estabelecer tempos de operação nas extremidades do carreador, de modo a maximizar os valores de uniformidade de irrigação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARRIÓN, P.; TARJUELO, J. M.; MONTERO, J. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation: I description of model. **Irrigation Science**, New York, v. 20, p. 74-84, May 2001.
- 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. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.
- FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In:

MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. p. 573-651.

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

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

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.

ROLLAND, L. **Mechanized sprinkler irrigation**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982. 409 p. (FAO irrigation and drainage paper, 35).

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.

SILVA, L. L.; SERRALHEIRO, R.; SANTOS, N. Improving irrigation performance in hose-drawn traveler sprinkler systems. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 121-127, Jan. 2007.

SMITH, R.; BAILLIE, C.; GORDO, G. Performance of travelling gun irrigation machines. **Proceedings Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Sydney, v. 24, p. 235-243, 2002.

SMITH, R. et al. A decision support model for travelling gun irrigation machines. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 100, n. 1, p. 126-136, May 2008.