

ROTINA COMPUTACIONAL PARA SIMULAR A DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE SISTEMAS AUTOPROPELIDOS DE IRRIGAÇÃO OPERANDO COM ÂNGULO DE GIRO ASSIMÉTRICO

GIULIANI DO PRADO¹, ALBERTO COLOMBO²

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Maringá - UEM, (44) 3675-1779, gprado@uem.br

² Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, (35) 3829-1388, acolombo@ufla.br

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: Objetivando simular a distribuição de água de sistemas autopropelidos de irrigação, operando com ângulo de giro assimétrico em condições de vento, uma rotina computacional foi desenvolvida. Na seleção dos ângulos secos, a esquerda (0 a 178°) e a direita (0 a 178°) a trajetória de movimentação do aspersor, é calculado o ângulo molhado do canhão hidráulico. O ângulo molhado pode ser girado (-360 a 360°) para estabelecer o valor final do ângulo de assimetria do aspersor. Com o ângulo de giro definido, identificado os pontos em torno do aspersor que recebem água, são determinadas, em uma malha de coletores, as intensidades de precipitação do aspersor operando de forma estacionária em condições de vento pelo modelo de Richards & Wetherhead. Os valores de intensidades de precipitação de cada coluna da malha de coletores são integrados para estabelecer as lâminas aplicadas em coletores dispostos em uma linha transversal à movimentação do aspersor. Com a sobreposição lateral das lâminas aplicadas, para espaçamentos compreendidos entre 30 a 100% do diâmetro molhado do aspersor, é calculado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). Os valores de CUC gerados podem ser empregados na tomadas de decisão das melhores condições operacionais de ângulo de giro do aspersor.

PALAVRAS-CHAVE: canhão hidráulico, intensidade de aplicação, lâmina aplicada

COMPUTER ROUTINE TO SIMULATE WATER DISTRIBUTION FROM TRAVELLING GUN IRRIGATION WORKING WITH ASYMMETRIC WETTED ANGLE

ABSTRACT: A computer routine to simulate water distribution from travelling gun irrigation, working with asymmetric wetted angle under different windy conditions, was developed. Selecting dry angles of gun sprinkler, on left (0 to 178°) and on right (0 to 178°) of the travel path, allow calculating the wetted angle of gun sprinkler. Rotating the wetted angle (-360° to 360°) permits to set the final adjustment of asymmetric wetted angle for the gun sprinkler. Defined the wetted angle and setting the points around the gun sprinkler which receive water (a grid of catch cans), the gun sprinkler application rates, working in stationary way and under windy conditions, are calculated by Richards & Weatherhead model. The application rate values of each column from the grid of catch cans are integrated to determine the depth applied on a line of catch cans transversal to the gun sprinkler travel. The Christiansen uniformity coefficients (CUC) are determined overlapping the depth applied for lane widths from 30 to 100% of the sprinkler wetted diameter. The CUC values calculated can be used in the decision-making of the best operating conditions for the sprinkler wetted angle.

KEYWORDS: gun sprinkler, application rate, depth applied

INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão com o uso de equipamentos autopropelidos de irrigação é uma prática intensivamente utilizada na cultura da cana-de-açúcar (NUNES et al, 2004). O uso desses equipamentos não é adotado exclusivamente na irrigação da cana-de-açúcar. Na Europa, em função da facilidade com que os autopropelidos cobrem áreas irregulares, estes equipamentos são amplamente empregados. Segundo LANCEY (2006), os canhões hidráulicos são utilizados em aproximadamente 75% da área irrigada por aspersão na Inglaterra.

Nos sistemas autopropelidos de irrigação, a escolha inadequada das várias condições operacionais possíveis pode ocasionar uma aplicação de água desuniforme na área irrigada. Conforme ROCHA et al. (2005) e PRADO & COLOMBO (2007), a baixa uniformidade de aplicação de água, dos equipamentos autopropelidos de irrigação, está ligada a uma falta de critérios específicos de dimensionamento capazes de proporcionar um desempenho satisfatório e competitivo desses sistemas de irrigação em diferentes condições operacionais.

O desconhecimento de uma combinação ótima dos fatores que podem, ou não, ser controlados pelo operador do sistema de irrigação é a principal causa que leva a um inadequado valor de uniformidade de aplicação de água. Dentre os fatores controlados pelo operador, destacam-se: ângulo de lançamento do jato, tipo de bocal, ângulo de giro do aspersor, características do perfil radial de distribuição de água, espaçamento entre carregadores e variações na pressão de serviço e na velocidade de deslocamento do aspersor (PRADO et al., 2007). Dentre os fatores que fogem ao controle do operador, destacam-se: velocidade e direção do vento em relação ao carregador (FARIA et al., 2012). Desta forma, em função das várias possíveis combinações de fatores que influenciam na uniformidade de aplicação de água, o uso de modelos de simulação da distribuição espacial de água de aspersores é fundamental quando o objetivo é maximizar a uniformidade de aplicação de água (PRADO & COLOMBO, 2010; OLIVEIRA et al., 2013).

Segundo OLIVEIRA et al. (2009), o vento é um dos fatores de maior relevância na distribuição de água de aspersores. Conforme estes autores, em condições de vento, há uma distorção na aplicação de água do aspersor, ocorrendo um alongamento da área molhada no sentido do vetor vento e um achatamento da área molhada perpendicularmente ao sentido do vetor vento.

RICHARDS & WETHERHEAD (1993) descreveram um procedimento empírico para modelar matematicamente a distorção ocasionada pelo vento na distribuição espacial de água de canhões hidráulicos. O emprego deste modelo está condicionado ao ajuste de seis parâmetros, que definem a deriva pelo vento e a redução do raio de alcance devido ao vento. Para o ajuste dos seis parâmetros é necessária a realização de ensaios de distribuição de água no campo com o aspersor operando isoladamente (PRADO & COLOMBO, 2011) ou em sistemas autopropelidos de irrigação (SMITH et al., 2008).

De maneira geral, os irrigantes, por desconhecerem as práticas que contribuem para melhoria da uniformidade da água aplicada por canhões hidráulicos, sofrem os prejuízos econômicos (gastos desnecessários de água, energia e queda da produtividade) e intensificam, desnecessariamente, os impactos ambientais (consumo excessivo de água e energia e lixiviação de fertilizantes).

No Brasil, com a crescente utilização de sistemas de irrigação que operam com canhões hidráulicos, principalmente na irrigação da cana-de-açúcar, há a necessidade do desenvolvimento de estratégias que visem melhorar a uniformidade de aplicação de água desses equipamentos. A regulação do ângulo de giro de aspersor de forma assimétrica em relação ao eixo do carregador pode ser uma forma de melhorar a distribuição de água de sistemas autopropelidos de irrigação. Desta forma, o objetivo desse trabalho é desenvolver uma rotina computacional para simular a distribuição espacial da água aplicada por equipamentos autopropelidos dotados de canhões hidráulicos trabalhando em condições de vento e operando com ângulos de giro assimétricos.

MATERIAL E MÉTODOS

A rotina computacional para simular a distribuição de água de sistemas autopropelidos de irrigação operando com ângulo de giro assimétrico, escrita em linguagem de programação Visual Basic 6 e incorporada ao programa SIMULASOFT (PRADO, 2004), foi desenvolvida no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha, PR.

Aspersores instalados em sistemas autopropelidos de irrigação são regulados para operar com um ângulo de giro (θ). A regulação desse ângulo de giro forma um ângulo seco a esquerda (α_I) e a direita (α_{II}) a trajetória linear de deslocamento do aspersor (Figura 1). A regulação do ângulo de giro do aspersor, também pode formar um ângulo de assimetria (β) do aspersor em relação à linha que define o eixo do carreador (Figura 1)

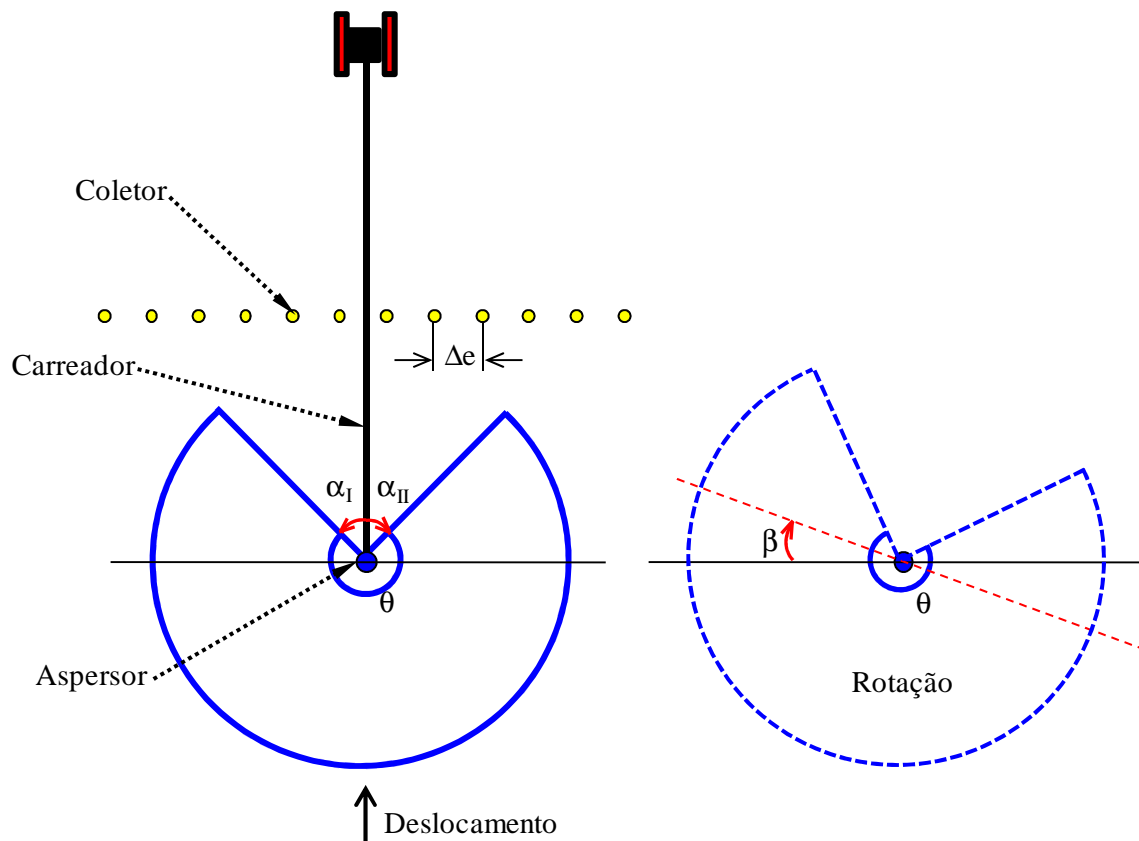


FIGURA 1. Representação dos ângulos secos (α_I e α_{II}), em relação ao eixo do carreador, e do ângulo de assimetria (β) gerado pela rotação do círculo molhado do aspersor.

Como mostra a Figura 2, a estimativa das lâminas aplicadas por um aspersor operando em um equipamento autopropelido de irrigação, com ângulos secos α_I e α_{II} , ângulo de assimetria β e velocidade constante ao longo do carreador, pode ser determinada a partir das intensidades aplicadas em uma malha de coletores alocada em torno do aspersor operando de forma estacionária. Essa malha de coletores (Figura 2) é composta por um número (N) de coletores de água dispostos ao longo do eixo " x_M " e por um número (N) de coletores de água dispostos ao longo do eixo " y_M ".

Para estimativa das intensidades de precipitação aplicadas na malha de coletores (Figura 2) é estabelecido um sistema de coordenadas cartesianas (x_v , y_v) a partir do ângulo (δ) formado entre a direção predominante do vetor vento e o eixo x_M da malha de coletores. Como mostra a Figura 2, nesse sistema de coordenadas cartesianas, o eixo " x_v " é alocado de forma a coincidir com a direção predominante do vetor vento e o eixo " y_v " é alocado perpendicularmente em relação à direção predominante do vetor vento.

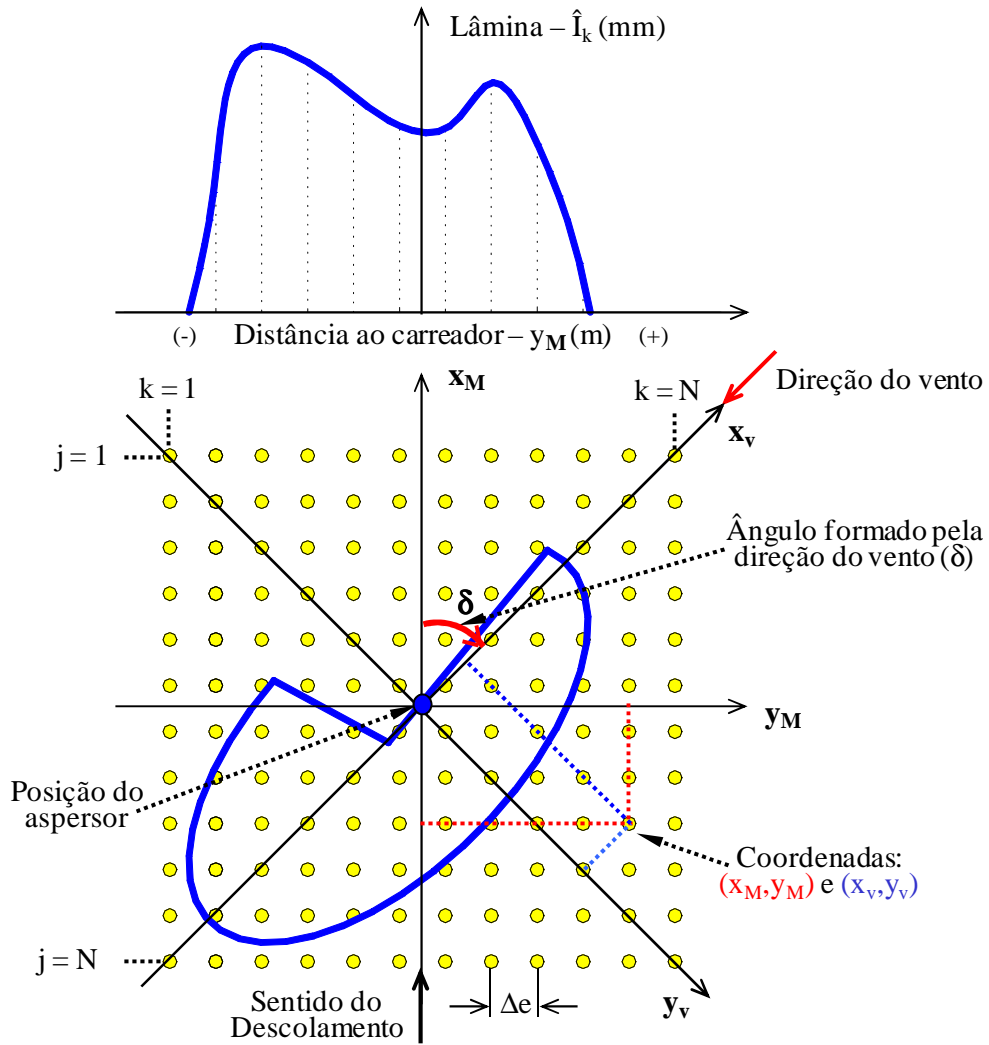


FIGURA 2. Representação das lâminas aplicadas por um aspersor operando em condições de vento e em movimento linear no carreador.

Com os valores das coordenadas “ x_v ” e “ y_v ” de cada coletor em relação ao aspersor, na condição de vento, e a partir dos parâmetros (A, B, C, D, E e F) é possível determinar iterativamente, pelo modelo de RICHARDS & WETHERHEAD (1993), às coordenadas (x_{v0} , y_{v0}) de cada coletor, na condição da ausência de vento com auxílio das expressões:

$$x_v = x_{v0} - \left[A + B \cdot \left(\frac{r}{R} \right) + C \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \cdot v - \left[D \cdot \left(\frac{r}{R} \right) + E \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^2 + F \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \cdot \frac{x_{v0}}{r} \cdot S \cdot v \quad (1)$$

$$y_v = y_{v0} - \left[D \cdot \left(\frac{r}{R} \right) + E \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^2 + F \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \cdot \frac{y_{v0}}{r} \cdot S \cdot v \quad (2)$$

$$\text{onde: } S = \frac{\sqrt{\sin^2(\omega) \cdot x_{v0}^2 + y_{v0}^2}}{r} \quad \text{e} \quad r = \sqrt{x_{v0}^2 + y_{v0}^2}$$

em que,

v - velocidade do vento, $m \cdot s^{-1}$;

r - distância radial do coletor ao aspersor, m;

x_v e y_v - coordenadas para vento maior que zero, m;

x_{v0} e y_{v0} - coordenadas para vento igual a zero, m;

S - seno do ângulo formado entre a direção do jato do aspersor e a direção do vento;

ω - ângulo de lançamento do jato d'água do aspersor, graus;

A, B e C - constantes de ajuste da expressão que representa a deriva causada pelo vento, $m\ m^{-1}\ s\ e$,

D, E e F - constantes de ajuste da expressão que representa a redução do raio de alcance causada pelo vento, $m\ m^{-1}\ s$.

Conhecendo a posição de cada coletor, em relação ao aspersor, na ausência de vento (x_{v0} , y_{v0}) e a regulagem do ângulo de giro (Figura 1), determina-se, no perfil radial de distribuição de água do aspersor, a intensidade de precipitação de água. Desta forma, corrigindo o valor da intensidade de precipitação obtida para a ausência de vento, pela expressão 3, conforme o modelo de RICHARDS & WEATHERHEAD (1993), é possível estabelecer a intensidade de precipitação ocorrida em cada ponto de amostragem na condição de vento.

$$\hat{i}_{j,k} = \frac{i_0}{\frac{\partial x_v(x_{v0}, y_{v0})}{\partial x_{v0}} \cdot \frac{\partial y_v(x_{v0}, y_{v0})}{\partial y_{v0}}} \quad (3)$$

em que,

$\hat{i}_{j,k}$ - intensidade de precipitação estimada pelo modelo, $mm\ h^{-1}$;

i_0 - intensidade de precipitação na ausência de vento, $mm\ h^{-1}$ e,

$\frac{\partial x_v(x_{v0}, y_{v0})}{\partial x_{v0}}$ e $\frac{\partial y_v(x_{v0}, y_{v0})}{\partial y_{v0}}$ - derivadas parciais, respectivamente, das equações 1 e 2.

Com os valores de intensidades de precipitação aplicados por um aspersor operando de forma estacionária, na malha de coletores apresentada na Figura 2, são estimadas as lâminas aplicadas pelo aspersor em movimento. Esta estimativa é feita integrando os valores de intensidades de precipitação estimados em cada coluna da malha de coletores por:

$$\hat{I}_k = \frac{\Delta e}{1000 \cdot V} \cdot \sum_{j=1}^N \hat{i}_{j,k} \quad (4)$$

em que,

\hat{I}_k - lâmina de precipitação aplicada pelo aspersor em movimento no carreador, $mm\ e$,

V - velocidade de deslocamento linear do aspersor, $m\ h^{-1}$.

As lâminas aplicadas transversalmente ao sentido de movimentação do aspersor são sobrepostas, para espaçamento entre carreadores que são múltiplos de 6 m e que estão compreendidos entre 30% e 100% do diâmetro molhado (DM) do aspersor. A uniformidade de aplicação de água das lâminas sobrepostas, para as condições operacionais do sistema de irrigação, é expressa pelos coeficientes de uniformidade de Christicansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (UD).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as simulações digitais da distribuição de água de aspersores operando em sistemas autopropelidos de irrigação é necessário o perfil radial de distribuição de água do aspersor, obtido em baixas condições de vento (velocidade menor que $0,9\ m\ s^{-1}$). Na Figura 3 são apresentados dois perfis radiais de distribuição dos 350 perfis radiais dos canhões hidráulicos PLONA-RL disponíveis no programa SIMULASOFT (PRADO, 2004). O programa também permite a entrada de perfis radiais de distribuição de água de outros aspersores.

Na Figura 3 é mostrado o acúmulo de água na extremidade final do perfil radial de aspersores operando sob baixas condições de pressão de serviço (MATÍN-BENITO, et al, 1992), associados a

bocais maiores. Para condições adequadas de pressão de serviço (Figura 3), a forma geométrica do perfil radial tende ao perfil teórico F (retangular) de CHRISTIANSEN (1942).

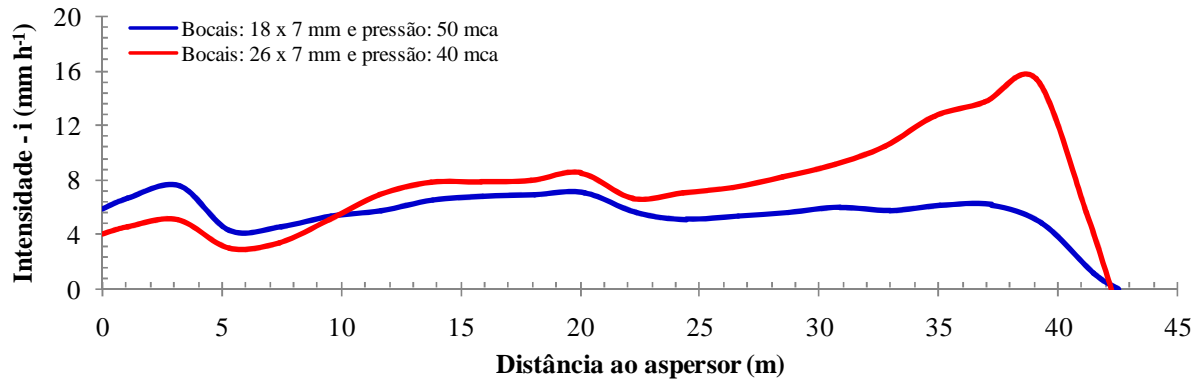


FIGURA 3. Perfis radiais de distribuição de água do aspersor PLONA-RL250 operando sob duas diferentes condições operacionais.

Com o perfil radial de distribuição de água do aspersor é possível fazer a regulagem do ângulo de giro do aspersor, selecionando os ângulos secos, a esquerda (0 a 178°) e a direita (0 a 178°) a trajetória de movimentação do aspersor e girar (-360 a 360°) o círculo molhado do aspersor (Figura 4). Ao selecionar a velocidade de deslocamento do aspersor e as condições de velocidade e direção do vento, o programa calcula as lâminas aplicadas transversalmente a movimentação do aspersor, integrando os valores de intensidades de aplicação de água de cada coluna de valores de intensidades aplicadas em torno do aspersor operando de forma estacionária (Figura 5). Os valores de intensidade de aplicação de água são estimados a partir do modelo de distorção provocado pelo vento de RICHARDS & WEATHERHEAD (1993).

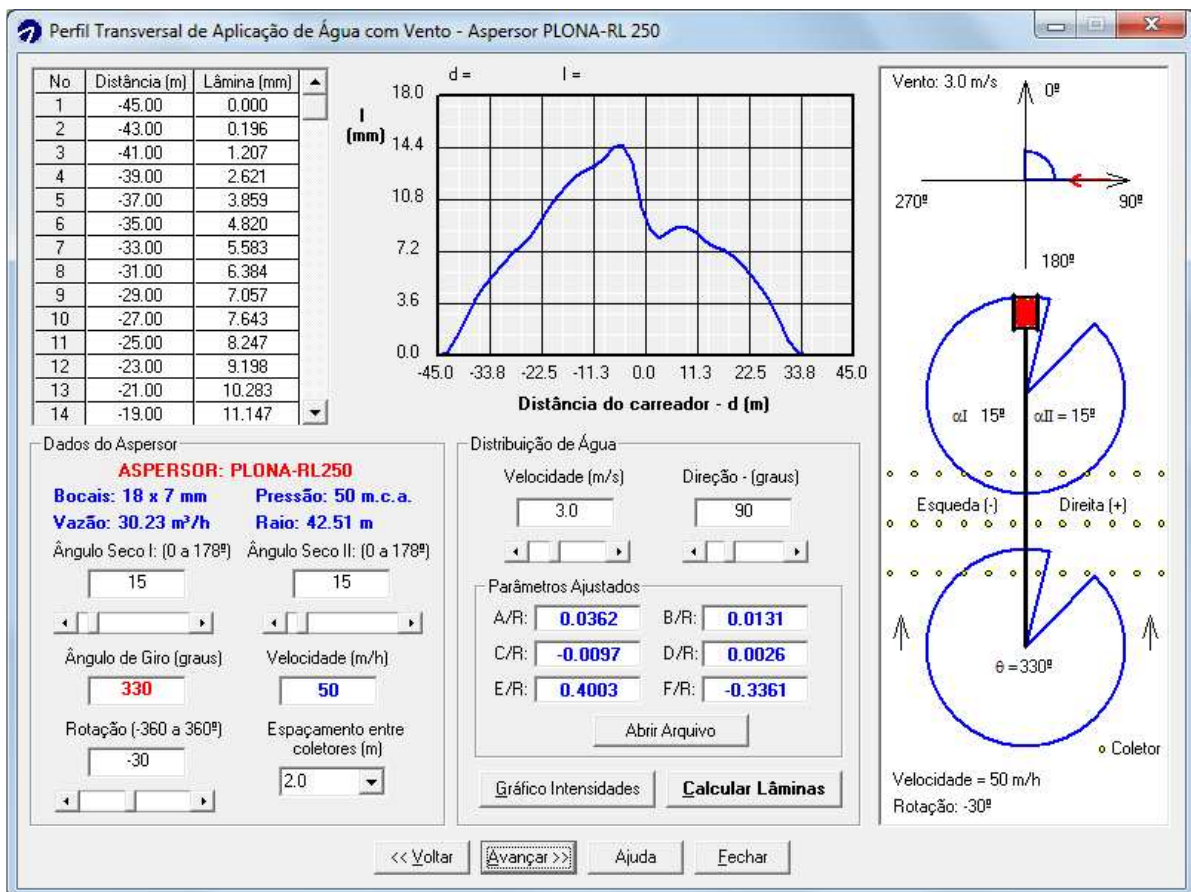


FIGURA 4. Tela para determinação do perfil transversal de aplicação de água do aspersor em movimento no carreador.

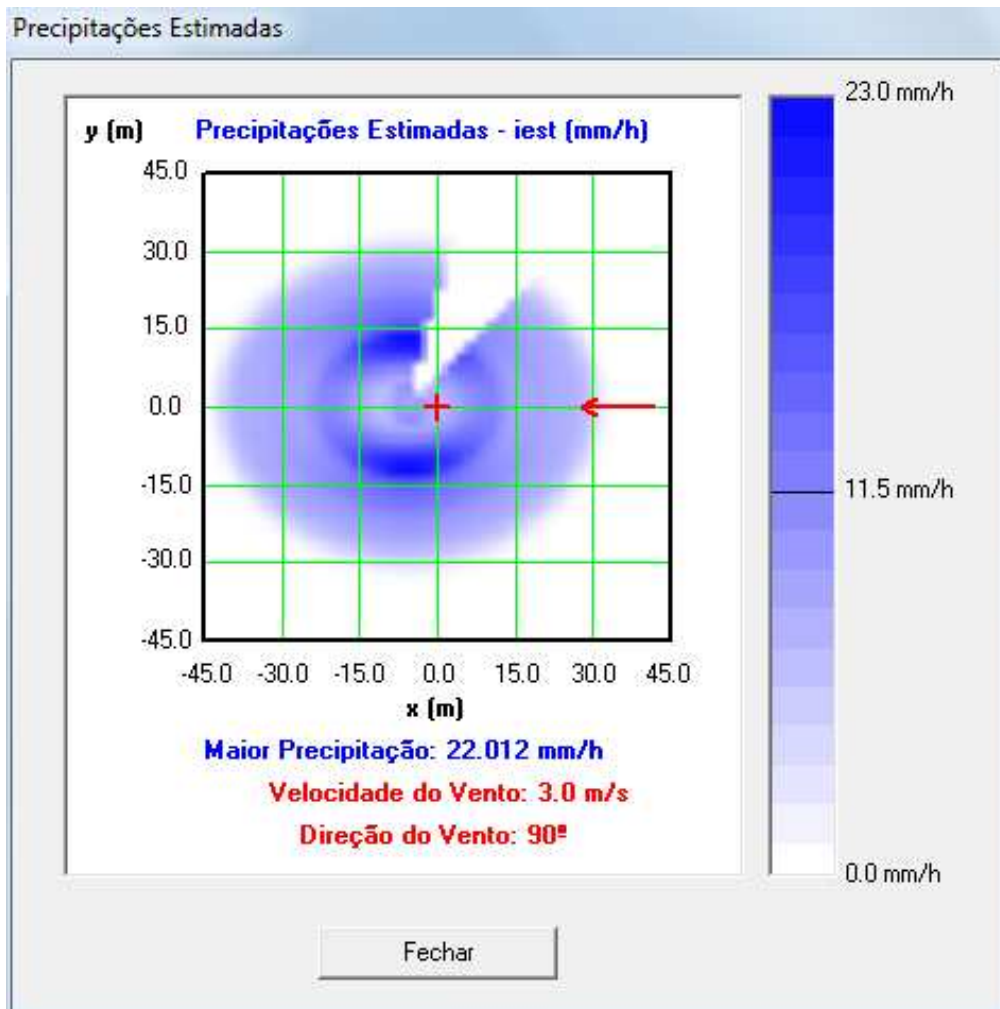


FIGURA 5. Intensidades de aplicação de água determinadas em torno do aspersor operando de forma estacionária.

Na assimetria do ângulo de giro, em relação ao eixo do carreador, fica uma maior aplicação de água em um dos lados da faixa irrigada (Figura 4). Essa assimetria pode proporcionar maiores valores de uniformidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação, que é comprovado na Figura 6 com a sobreposição lateral das lâminas aplicadas pelo aspersor. Para essa situação, o aspersor, movimentando-se com uma velocidade constante de 50 m h^{-1} sob condições de vento com velocidade de 3 m s^{-1} e direção igual a 90° , está operando com bocais os $18 \times 7 \text{ mm}$ sob a pressão de 50 mca (Figura 3, linha azul) com ângulo de giro de 330° e assimetria de -30° em relação ao eixo do carreador. Nessa condição operacional, para espaçamentos entre carreadores até 60 m, que equivale a 70% do diâmetro molhado do aspersor o coeficiente de uniformidade de Christiansen estimado foi maior que 80% (Figura 6).

A distribuição de água para alguns ângulos de giro (270° , 300° e 330°), simétricos em relação ao eixo do carreador, como observado por PRADO & COLOMBO (2007), não proporciona altos valores de uniformidade de aplicação de água, principalmente, para espaçamentos entre carreadores compreendidos entre 60 a 70% do diâmetro molhado do aspersor. Todavia, o ajuste assimétrico do ângulo de giro de 330° gerou altos valores de uniformidade de aplicação de água para essa faixa de espaçamento de carreador (Figura 6).

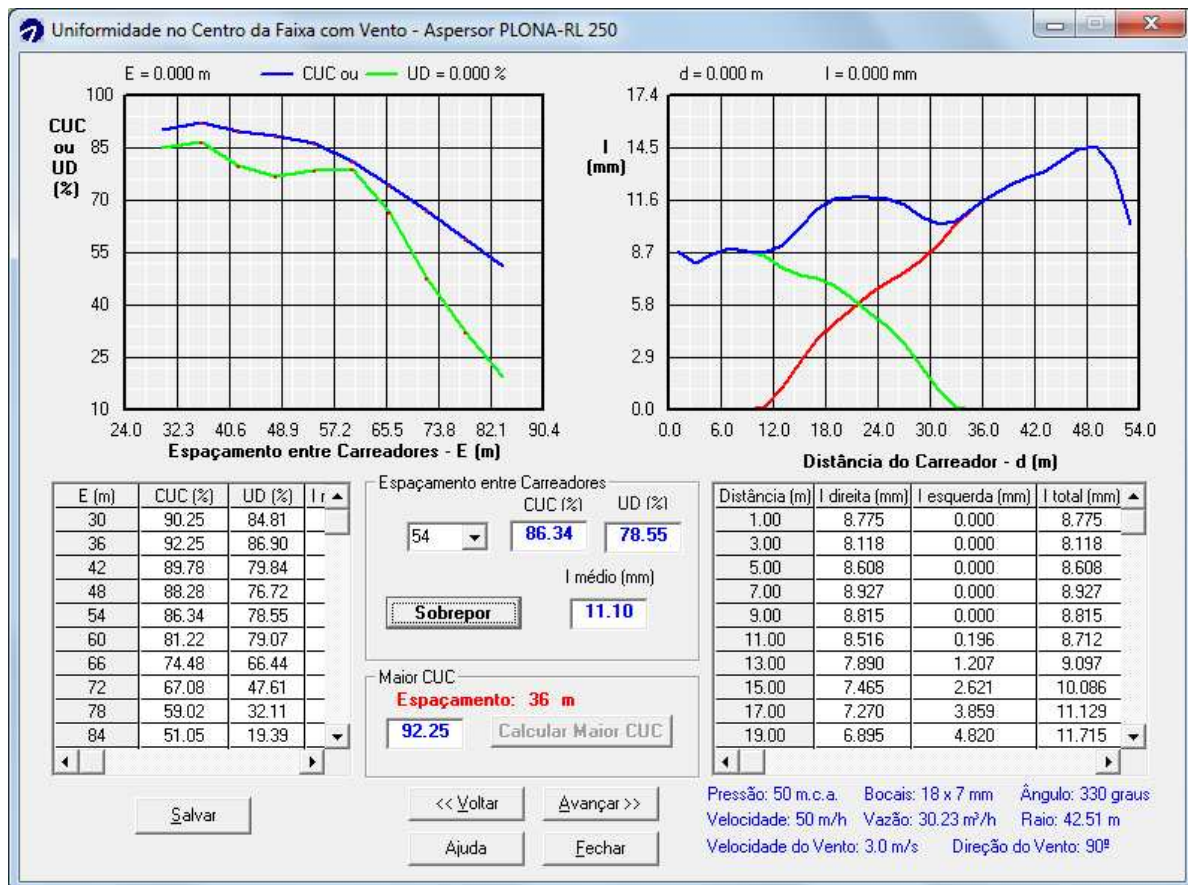


FIGURA 6. Tela para sobreposição de cálculo da uniformidade de Christicanse e uniformidade de distribuição em função do espaçamento entre carreadores.

CONCLUSÕES

A rotina computacional desenvolvida permite simular de forma rápida a distribuição espacial de água aplicada, em condições de vento, por aspersores operando com ângulos giro assimétricos em relação ao eixo do carreador e selecionar as condições operacionais que proporcionem os maiores valores de coeficientes de uniformidade de aplicação de água.

REFERÊNCIAS

CHRISTIANSEN, J. E. *Irrigation by Sprinkling*. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124 p. (Bulletin, 670).

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E.; BESKOW, S.; PRADO, G. Distorção do vento na área molhada por canhões hidráulicos: extensão da modelagem para aspersores médios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.699-705, 2012.

LANCEY, T. *Improving Irrigation Efficiency: Optimising raingun performance in field-scale vegetable production*. Cranfield University, February 2006. Disponível em <<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/students/timlacey.htm>>. Acesso em: 20 mai. 2006.

MARTÍN-BENITO, J. M. T.; GÓMEZ, M. V.; PARDO, J. L. Working conditions of sprinkler to optimize application of water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.118, p.895-913, 1992.

NUNES, D.; PINTO, R. S.; TRENTO FILHO, E.; ELIAS, A. I. *Indicadores do setor sucroalcooleiro - safras 2003/2004*. Ribeirão Preto, Grupo IDEA, 2004, 111 p.

- OLIVEIRA, H. F. E.; COLOMBO, A.; FARIA, L. C. Modelagem dos efeitos do vento sobre as dimensões do alcance do jato de um canhão hidráulico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.818-824, 2009.
- OLIVEIRA, H. F. E.; COLOMBO, A.; FARIA, L. C., BESKOW, S; PRADO, G. SAI: Modelo para simulação da irrigação por aspersão – Calibração e validação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.253-260, 2013.
- 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, MG.
- PRADO, G.; COLOMBO, A. Ajuste de parâmetros para distorção da distribuição de água aplicada por canhões hidráulicos em condições de vento. *Irriga*, v.16, p.52-69, 2011.
- PRADO, G.; COLOMBO, A. Determinação do perfil radial de aspersores a partir de ensaios de distribuição de água em sistemas autopropelidos de irrigação. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.2, p.232-243, 2010.
- PRADO, G.; COLOMBO, A. Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor PLONA-RL250 em sistemas autopropelidos de irrigação. *Irriga*, Botucatu, v. 12, p. 249-262, 2007.
- PRADO, G.; COLOMBO, A; BIAGIONI, P. F. Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor PLONA-RL400 em sistemas autopropelidos de irrigação. *Revista de Engenharia*, Jaboticabal, v. 27, p. 346-353, 2007.
- RICHARDS, P. J.; WEATHERHEAD, E. K. Prediction of raingun application patterns in windy conditions. *Journal Agricultural Engineering Research*, v. 54, p. 281-291. 1993.
- ROCHA, F. A.; PEREIRA, G. M. ROCHA, F. S.; SILVA, J. O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. *Irriga*, Botucatu, v. 10, p. 96-106, 2005.
- SMITH, R. J.; GILLIES, M. H.; NEWELL, G.; FOLEY, J. P. A decision support model for travelling gun irrigation machines, *Biosystems Engineering*, v.100, p.126-136, 2008.