

MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR A UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO^{1/}

Reinaldo Lúcio Gomide^{2/}
Salassier Bernardo^{3/}
Manoel Vieira^{4/}
Gilberto C. Sedyama^{3/}

1. INTRODUÇÃO

A uniformidade de distribuição d'água no sistema de irrigação por aspersão é parâmetro importante que deve ser determinado para que se possa obter melhor eficiência de aplicação. Sua determinação baseia-se nas medidas da água coletada numa série de recipientes, de igual tamanho, seção e volume, que se acham distribuídos sobre a superfície do solo ou sobre estacas, para evitar a interferência da folhagem das culturas na distribuição d'água pelo aspersor.

Há diversas expressões numéricas que servem para determinar a uniformidade de distribuição d'água pelos aspersores (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19). Tais expressões permitem analisar os modelos de distribuição d'água que se originam dos aspersores e, também, verificar se os espaçamentos entre os aspersores, bem como uma série de outros fatores, influem na uniformidade de aplicação e se podem provocar uma redução na eficiência do sistema. Convém sejam realiza-

^{1/} Parte da tese apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola, pelo primeiro autor, como uma das exigências para a obtenção do grau de «Magister Scientiae».

Recebido para publicação em 26-05-1978.

^{2/} Pesquisador da EPAMIG, Faz. Exp. de Santa Rita, Prudente Morais, MG.

^{3/} Departamento de Engenharia Agrícola, U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{4/} Departamento de Matemática, U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

dos minuciosos estudos de tais fatores, a fim de que o sistema possa ter bom desempenho.

Assim, para um mesmo modelo de aspersor, seria obtido um valor de uniformidade de distribuição diferente para cada espaçamento. Desde que este pode ser igual ou diferente nas duas direções, isto é, entre linhas laterais e entre aspersores ao longo da mesma linha lateral, exigem-se muitos cálculos para uma análise completa de um modelo de distribuição de água do aspersor e para determinar qual o espaçamento que resultará numa distribuição mais uniforme, a qual influirá na eficiência do sistema, bem como na produção da cultura que está sendo explorada.

Com base nisso, procurou-se elaborar, neste estudo, um modelo matemático para calcular a uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão, usando as seguintes expressões: coeficiente de uniformidade de Christiansen, «novo coeficiente» de uniformidade, proposto por Benami e Hore, «pattern efficiency», coeficiente estatístico de uniformidade, de Wilcox-Swales, e coeficiente de variação. Os cálculos foram baseados nos dados de precipitação de um único aspersor, obtidos de pluviômetros dispostos sobre a superfície do solo, e na simulação de sistemas de irrigação por aspersão, com os seguintes espaçamentos entre linhas laterais e entre aspersores ao longo da lateral: 12 x 12, 18 x 12, 18 x 18, 24 x 12, 24 x 18, 24 x 24, 30 x 12, 30 x 18, 30 x 24 e 30 x 30 m. Para representar a distribuição de um sistema de irrigação, foi escolhido o modelo de distribuição de água de um único aspersor. Para tanto, efetuou-se a superposição das alturas das lâminas de água, de acordo com os espaçamentos usados.

Este trabalho apresenta, também, uma metodologia para processamento do modelo matemático por meio de um programa em linguagem PL/I, o qual determina os coeficientes de uniformidade para cada um dos espaçamentos simulados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos de campo deste estudo foram conduzidos numa área plana, próxima do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola do C.C.A. da Universidade Federal de Viçosa, MG., em solo coberto por grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge).

Os testes foram realizados com aspersor PERROT, fabricado pela ASBRASIL (2), modelo ZED-30, jato d'água com ângulo de 27 graus e bocais com diâmetro de 6,0 x 7,5 mm.

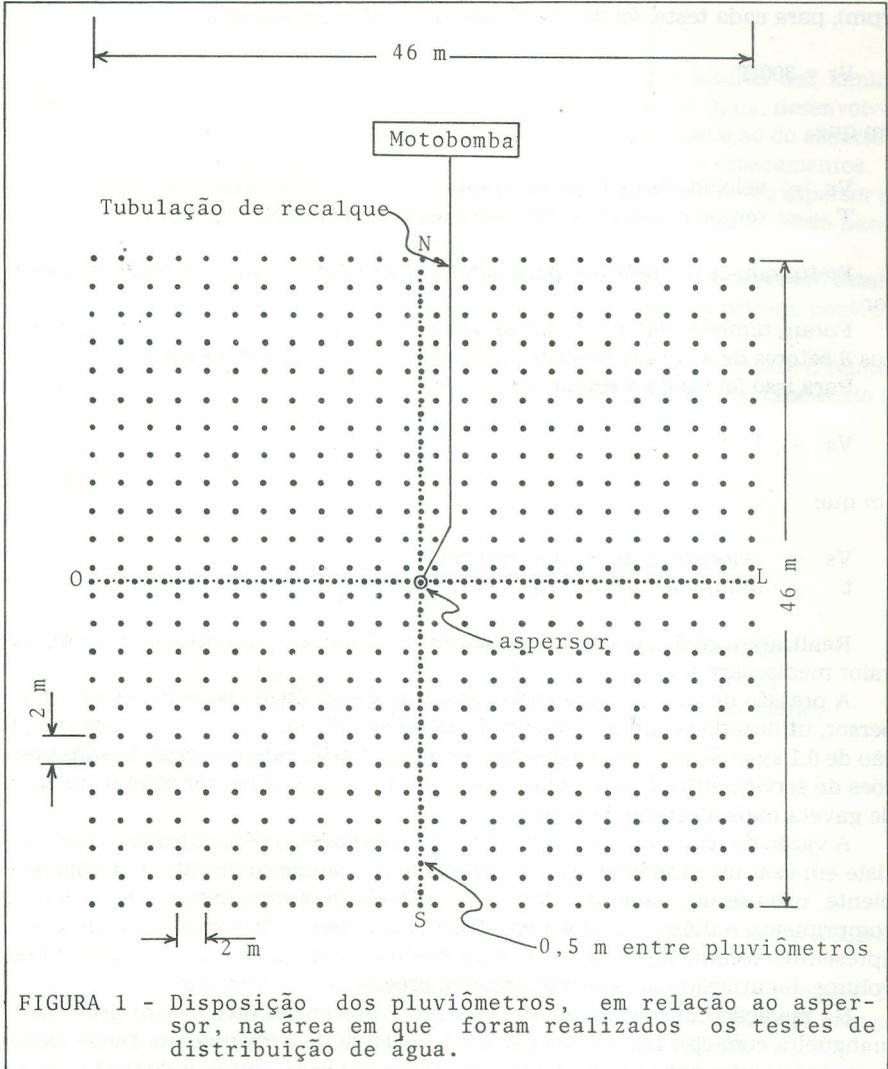
A água fornecida ao aspersor foi bombeada da represa próxima do Laboratório de Hidráulica, por meio de uma motobomba auto-escorvante, de 7,5 CV, marca DANCOR. A condução da água foi feita por meio de tubos de aço zincado, de engate rápido, de 88,9 mm de diâmetro e 6 m de comprimento.

O aspersor foi instalado, por meio de engate rápido com válvula automática, tipo ERVA, marca PERROT, sobre tubos de elevação de 25,4 mm de diâmetro e alturas de 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 m.

Para controle de pressão durante a realização dos testes foi usado, um manômetro de Bourdon, marca DOX, graduado em kg/cm^2 (bar), colocado a 20 m da motobomba, na tubulação de recalque. Ajustou-se a pressão desejada por meio de dois registros de gaveta: um, de 76,2 mm de diâmetro, instalado na saída da bomba, e outro, de 63,5 mm de diâmetro, colocado a 14 m do primeiro.

O método utilizado na determinação da uniformidade de distribuição, citado por BRANSCHIED e HART (5), CHRISTIANSEN (6) e DAVIS (9), foi aquele que emprega o modelo de distribuição de água de um único aspersor operando isoladamente.

O método consistiu em operar o aspersor, de preferência, durante uma hora (1). A precipitação foi medida em pluviômetros, dispostos sobre o solo em forma de malha quadrada com 2 m de lado, exceto nos eixos norte-sul e leste-oeste, nos quais foram espaçados de 0,5 m, para obtenção do perfil de distribuição de água do aspersor. A Figura 1 é um esquema desse método, no campo.



Como pluviômetros foram usadas latas de óleo lubrificante, de um litro, com bordas rebatidas. Esses pluviômetros foram colocados sobre ladrilhos previamente nivelados, para garantir o nivelamento de suas seções de captação. Para coletar a água emitida pelo aspersor foram usados 576 pluviômetros, distribuídos conforme ilustra a Figura 1. Em cada pluviômetro, a água foi medida com 4 provetas de 100 ml, com precisão de 1 ml.

A direção e a velocidade média do vento foram medidas de 10 em 10 minutos para analisar-se a influência desses parâmetros meteorológicos sobre a distribuição da água. Para medição da velocidade do vento foi usado um anemômetro TAYLOR-ROCHESTER, instalado a 2 m de altura, em relação ao solo. A direção do vento foi determinada por meio de um catavento, instalado à mesma altura, próximo ao anemômetro.

A velocidade de rotação do aspersor, em número de rotações por minuto (rpm), para cada teste, foi determinada com a seguinte equação:

$$V_r = 300/T \quad (I)$$

em que

$$\begin{aligned} V_r &= \text{velocidade de rotação (rpm).} \\ T &= \text{tempo necessário para que o aspersor complete 5 voltas(s).} \end{aligned}$$

Efetuar-se 5 repetições para obter a velocidade média de rotação do aspersor.

Foram também determinadas as velocidades setoriais de rotação do aspersor nos 8 setores de 45 graus descritos pelo aspersor em cada volta completa.

Para isso foi usada a seguinte equação:

$$V_s = 7,5/t \quad (II)$$

em que

$$\begin{aligned} V_s &= \text{velocidade de rotação setorial (rpm),} \\ t &= \text{tempo necessário para que o aspersor percorra cada setor.} \end{aligned}$$

Realizaram-se 5 repetições para obter um t médio e, conseqüentemente, um valor médio para V_s .

A pressão de serviço, para cada ensaio, foi determinada no bocal ejetor do aspersor, utilizando-se um manômetro DOX, graduado em kg/cm^2 (bar), com precisão de $0,1 \text{ kg/cm}^2$, acoplado a um tubo de Pitot. Neste trabalho foram usadas pressões de serviço entre 1,5 e 4,5 bares, as quais foram ajustadas por meio do registro de gaveta mais afastado da bomba.

A vazão do aspersor, para cada teste, foi medida pelo processo direto, que consiste em usar um cronômetro e um recipiente de volume conhecido (1). Como recipiente, usou-se um balão de vidro, com gargalo de aproximadamente 10 cm de comprimento e diâmetro de 4,4 cm. Esse balão, depois de completamente cheio, apresentou volume de 38,33 litros. Para medir o tempo gasto para completar esse volume, foi utilizado um cronômetro com precisão de 0,1 segundo.

Na medição das vazões, foram conectados aos bocais do aspersor pedaços de mangueira com 25,4 mm de diâmetro e 1,5 e 3,0 m de comprimento. Desse modo, conseguiu-se desviar os jatos d'água de cada bocal para o interior do balão.

Efetuar-se 5 repetições para determinar a vazão média de cada bocal. A vazão do aspersor foi dada pela soma das vazões de seus bocais.

Os ensaios foram realizados de acordo com a seguinte rotina:

- a) Colocação da seção de captação de todos os pluviômetros virada para baixo;
- b) Colocação do sistema em funcionamento;
- c) Ajustamento da pressão de serviço;
- d) Determinação da vazão do aspersor;

- e) Colocação dos pluviômetros em posição de trabalho, depois do desligamento da bomba;
- f) Início do teste; sistema posto novamente em funcionamento;
- g) Verificação da velocidade de rotação do aspensor (completa e setorial);
- h) Realização de leituras no anemômetro, a intervalos de 10 minutos;
- i) Desligamento da motobomba, depois de transcorrido o tempo mínimo necessário para a realização do ensaio;
- j) Medição do conteúdo de cada pluviômetro.

Para efetuar os cálculos relativos à superposição das alturas das lâminas d'água e à determinação da uniformidade de distribuição da água, desenvolveu-se um programa de computador baseado nos dados de precipitação do aspensor e na simulação de sistemas de irrigação por aspersão com vários espaçamentos.

Efetuu-se a superposição dos dados de precipitação de um único aspensor para 10 diferentes combinações de espaçamentos. No modelo desenvolvido para a superposição foi considerada a água aplicada por 16 aspersores.

Com base nos dados dos pluviômetros, obtidos de um único aspensor, estabeleceu-se um sistema de eixos coordenados com o aspensor na origem, conforme ilustra a Figura 2.

Como unidade de medida das abscissas e das ordenadas adotou-se o número de pluviômetros compreendidos nas direções de X e Y, o qual foi estabelecido segundo as expressões

$$INX = IDX / CQ \quad (III)$$

$$INX = IDY / CQ \quad (IV)$$

em que

- INX = número de pluviômetros abrangidos pela distância IDX,
- INX = número de pluviômetros abrangidos, pela distância IDY,
- IDX = espaçamento entre os aspersores ao longo da linha lateral,
- IDY = espaçamento entre linhas laterais,
- CQ = comprimento da quadricula (CQ = 2m).

Adotando um espaçamento de 12 x 18 m (IDX x IDY), tem-se

$$INX = IDX / CQ = 12/2 = 6$$

$$INX = IDY / CQ = 18/2 = 9$$

Com isso, tem-se um sistema de eixos coordenados, conforme ilustra a Figura 3.

A contribuição dos diversos aspersores para determinado pluviômetro P de coordenadas IX e IY, considerando um espaçamento de IDY x IDX e um número de pluviômetros de INY x INX, pode ser medida da seguinte forma:

$$QA = M(IX, IY)$$

$$QB = M(IX, IY - INX - 1)$$

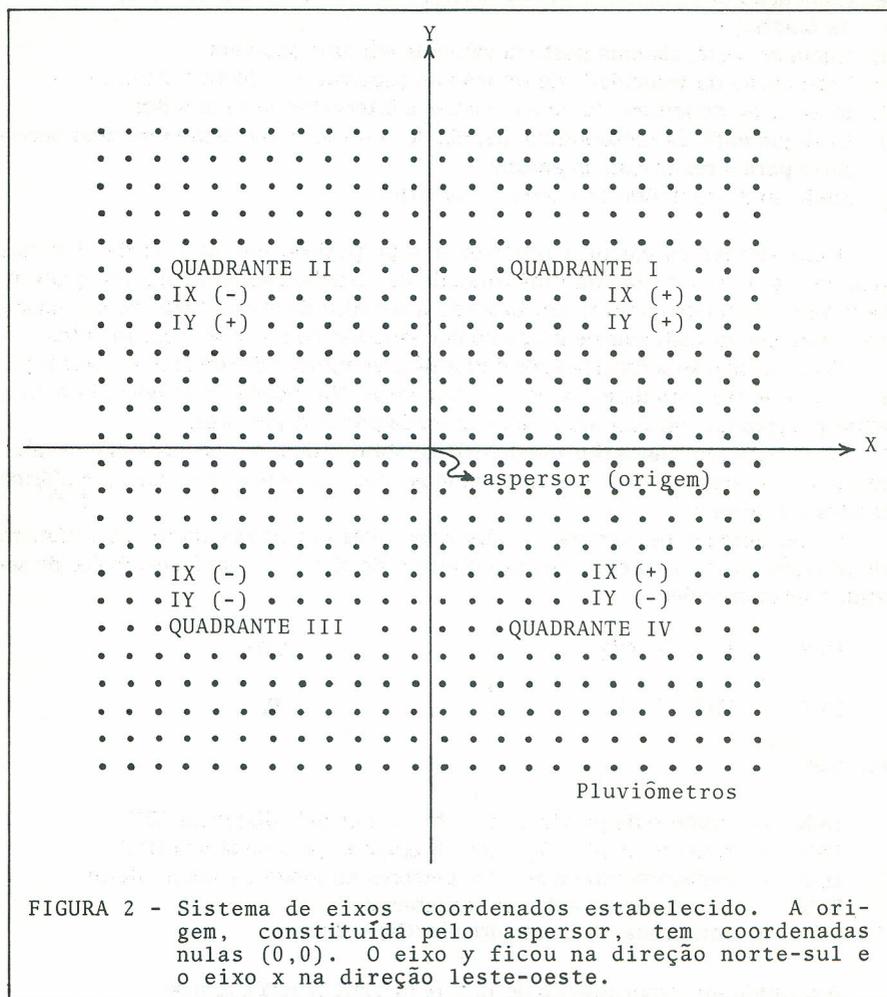
$$QC = M(IX - INY - 1, IY - INX - 1)$$

$$QD = M(IX - INY - 1, IY)$$

$$QE = M(IX + INY, IY)$$

$$QF = M(IX + INY, IY - INX - 1)$$

$$QG = M(IX - 2 \times INY - 1, IY - INX - 1)$$



$$\begin{aligned}
 QH &= M(IX - 2 \times INY - 1, IY) \\
 QI &= M(IX, IY - 2 \times INX - 1) \\
 QJ &= M(IX - INY - 1, IY - 2 \times INX - 1) \\
 QL &= M(IX, IY + INX) \\
 QM &= M(IX - INY - 1, IY + INX) \\
 QN &= M(IX + INY, IY + INX) \\
 QO &= M(IX + INY, IY - 2 \times INX - 1) \\
 QP &= M(IX - 2 \times INY - 1, IY - 2 \times INX - 1) \\
 QQ &= M(IX - 2 \times INY - 1, IY + INX)
 \end{aligned}$$

sendo QA, QB, QC, QD, ... , QQ as quantidades de água aplicadas (M) pelos respectivos aspersores (A,B,C,D, ... , Q), em cm³. A Figura 4 ilustra como isso foi feito.

Fazendo IX1 = IX - INY - 1, IX2 = IX + INY, IX3 = IX - 2 x INY - 1, IY1 = IY - INX - 1, IY2 = IY + INX, IY3 = IY - 2 x INX - 1, e considerando que a

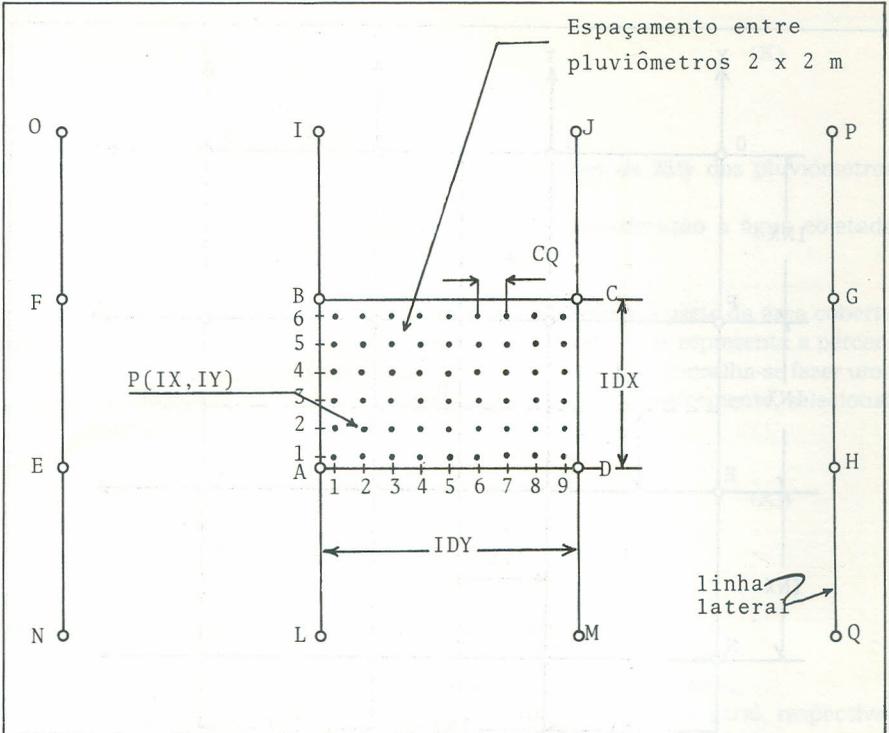


FIGURA 3 - Ilustração da unidade de medida das abscissas e das ordenadas. As letras A a Q representam os aspersores, P(IX,IY) representa o pluviômetro de coordenadas IX e IY, IDY é o espaçamento entre as linhas laterais, IDX é o espaçamento entre os aspersores ao longo da linha lateral e CQ é o comprimento da quadrícula.

soma das quantidades de água aplicadas pelos 16 aspersores foi a quantidade total coletada pelo pluviômetro P, de coordenadas IX e IY, chegou-se ao seguinte modelo, que foi usado para fazer a superposição:

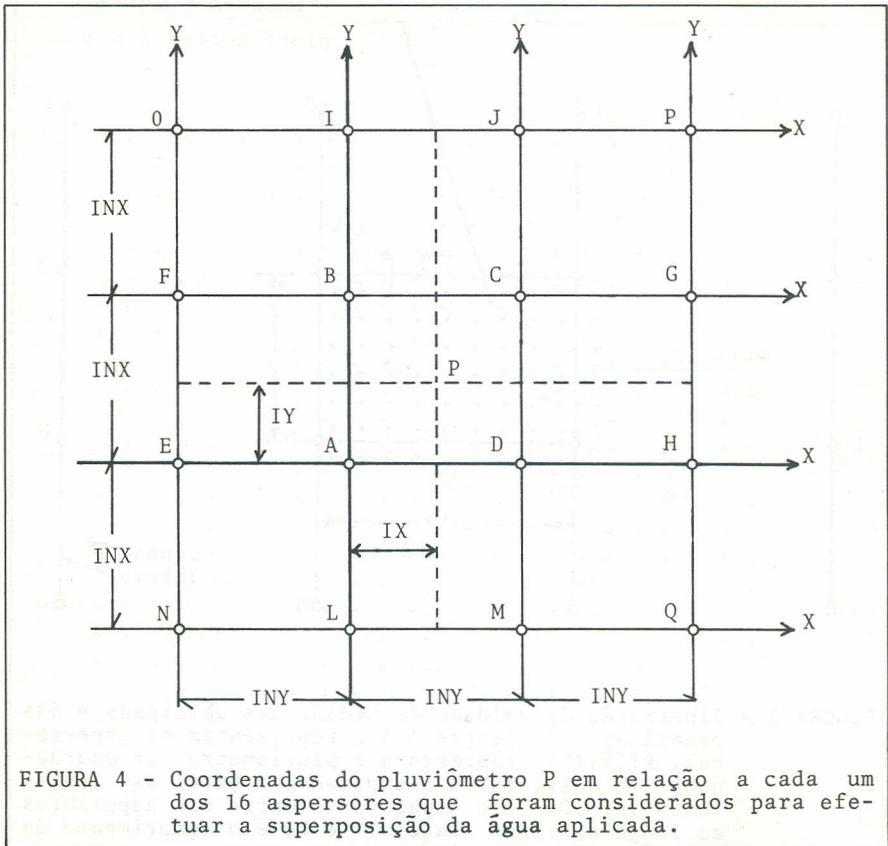
$$T(IX,IY) = QA + QB + QC + QD + \dots + QQ \tag{V}$$

$$T(IX,IY) = M(IX,IY) + M(IX,IY1) + M(IX1, IY1) + M(IX1, IY) + M(IX2, IY) + M(IX2, IY1) + M(IX3, IY1) + M(IX3, IY) + M(IX, IY3) + M(IX1, IY3) + M(IX, IY2) + M(IX1, IY2) + M(IX2, IY2) + M(IX2, IY3) + M(IX3, IY3) + M(IX3, IY2) \tag{VI}$$

sendo T(IX, IY) a quantidade total de água aplicada pelos 16 aspersores no pluviômetro de coordenadas IX e IY.

Para determinação da uniformidade de distribuição da água foram usadas as seguintes equações (4, 5, 6, 7, 9, 12, 14, 18):

$$1. CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum |\bar{x}_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right) \tag{VII}$$



em que CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%).

X_i = precipitação obtida do pluviômetro de ordem i (mm),

\bar{X} = precipitação média (mm),

n = número de amostras coletadas,

$\sum |X_i - \bar{X}|$ = somatório dos valores absolutos dos desvios.

$$2. CEU = 100 - CV$$

em que CEU = coeficiente estatístico de uniformidade (%),

CV = coeficiente de variação (%), definido por

$$CV = 100 \frac{s}{\bar{X}}, \quad (\text{VIII})$$

s = desvio-padrão dos dados de precipitação,

\bar{X} = precipitação média (mm). Substituindo o valor de CV, a equação fica assim:

$$CEU = 100 \left(1 - \frac{s}{\bar{X}} \right) \quad (\text{IX})$$

$$3. PEF = 100 \frac{\bar{x}}{\bar{X}} \quad (X)$$

em que PEF = «pattern efficiency» (%),

\bar{x} = média das mais baixas precipitações de 25% dos pluviômetros (mm),

\bar{X} = precipitação média, levando em consideração a água coletada por todos os pluviômetros (mm).

O «pattern efficiency» é uma expressão que dá ênfase à parte da área coberta pelos aspersores que recebe precipitações mais baixas, isto é, representa a percentagem da média dos 25% menores valores de precipitação. Aconselha-se fazer uma ordenação crescente dos valores de precipitação para, posteriormente, selecionar os 25% menores.

$$4. NCU = C_1/C_2 \quad (XI)$$

$$C_1 = M_b - \sum |x_b| / N_b$$

$$C_2 = M_a \sum |x_a| / N_a$$

em que NCU = «novo coeficiente» de uniformidade.

M_a = média do grupo de leituras acima da média geral,

M_b = média do grupo de leituras abaixo da média geral,

N_a e N_b = número de leituras acima e abaixo da média geral, respectivamente,

$|x_a|$ = desvio absoluto de M_a do grupo de leituras individual acima da média geral,

$|x_b|$ = desvio absoluto de M do grupo de leituras individual abaixo da média geral.

O programa foi desenvolvido na linguagem PL/I e rodado no computador IBM 360/40 da U.F.V. (11, 15).

A Figura 5 mostra o fluxograma do programa desenvolvido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cálculos e análises das expressões que permitem uma avaliação da uniformidade de distribuição da água pelos aspersores podem ser bastante facilitados pelo processamento das leituras dos modelos de distribuição de água pelo computador.

De posse dos dados de precipitação do aspersor e das combinações dos espaçamentos simulados entre linhas laterais e entre aspersores ao longo das linhas laterais, determinou-se a superposição das alturas das lâminas de água e os valores das equações que expressam a uniformidade de distribuição da água, empregando o programa desenvolvido.

Os resultados fornecidos pelo programa para o teste 2 são mostrados no Quadro 1.

Os valores da superposição das alturas das lâminas de água podem ser fornecidos na saída do programa, quando, no cartão de parâmetros, a variável «KEY» apresentar o valor 1, conforme mostra o Quadro 2. Sendo essa variável igual a zero, não haverá impressão dos valores da superposição, e a saída do programa ficará como mostra o Quadro 1.

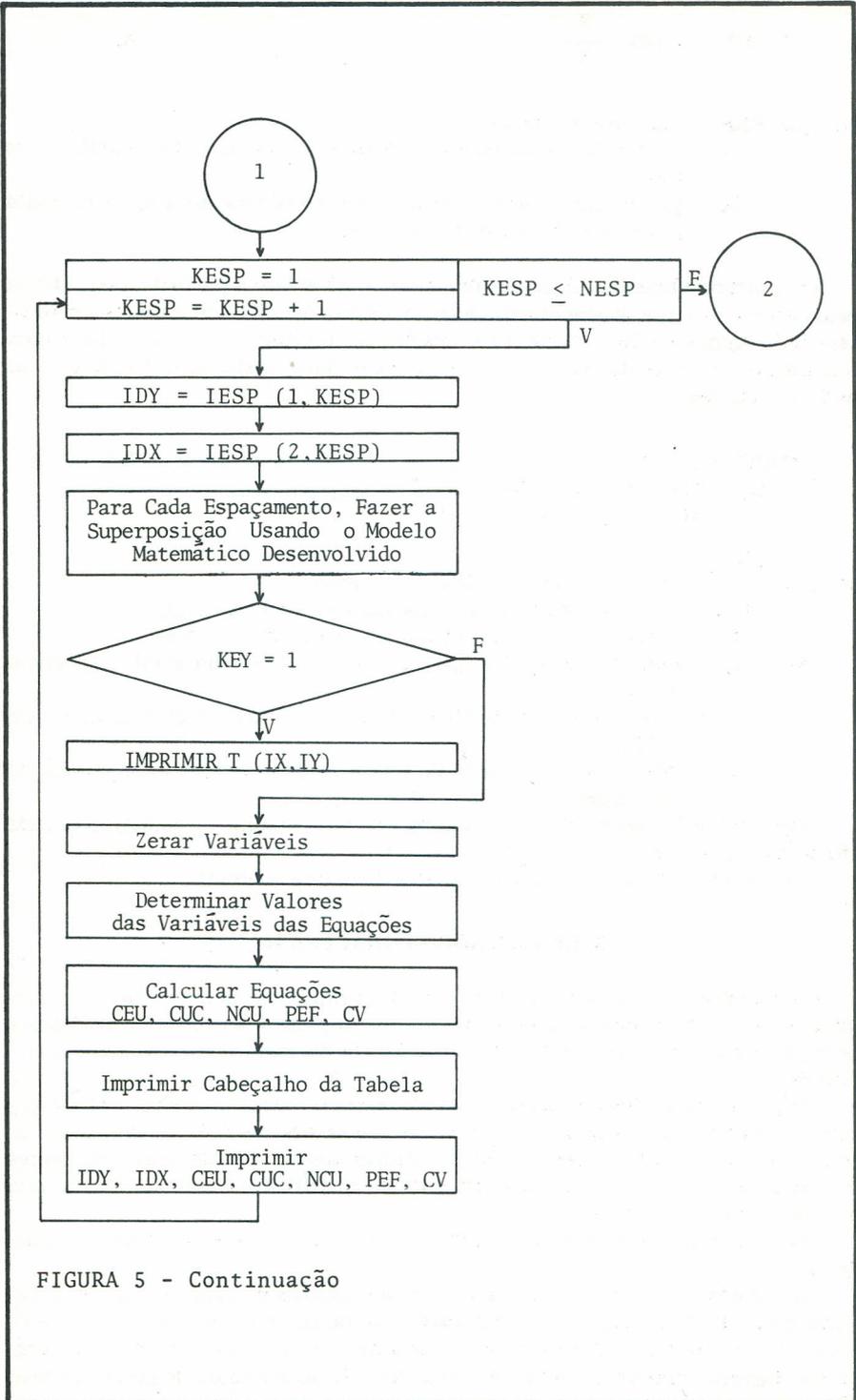


FIGURA 5 - Continuação

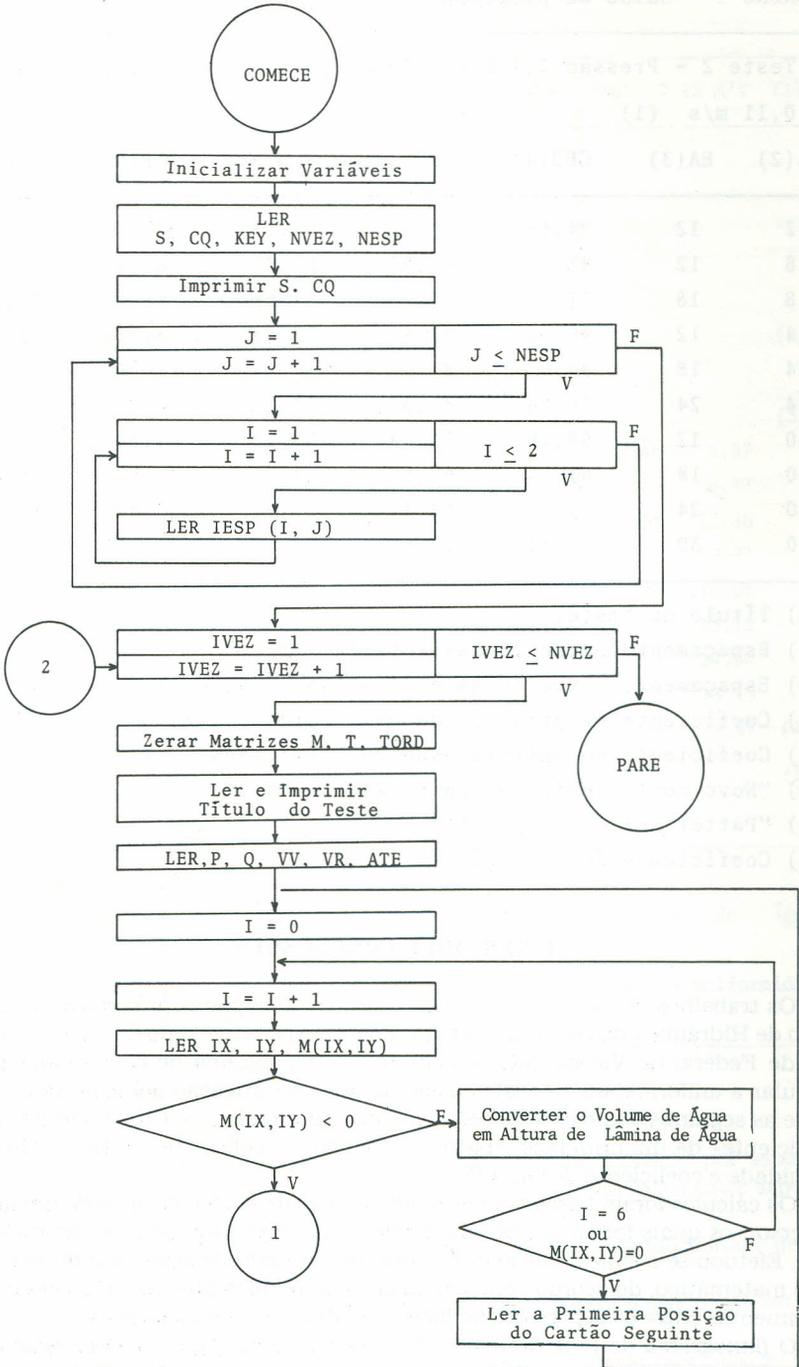


FIGURA 5 - Fluxograma que demonstra a lógica do programa.

QUADRO 1 - Saída do programa

Teste 2 - Pressão 2,1 atm - Tubo Elev. 0,5 m - Veloc. Vento
0,11 m/s (1)

EL(2)	EA(3)	CEU(4)	CUC(5)	NCU(6)	PEF(7)	CV(8)
12	12	94,65	95,33	87,18	92,73	5,55
18	12	83,30	85,87	64,85	78,18	16,70
18	18	77,91	82,39	54,69	71,00	22,09
24	12	90,98	92,80	79,58	88,15	9,02
24	18	80,02	84,07	59,41	75,01	19,98
24	24	76,76	81,37	52,85	68,77	23,24
30	12	68,19	71,34	39,63	54,88	31,81
30	18	61,34	67,63	34,55	52,08	38,66
30	24	61,14	68,47	32,91	50,68	38,86
30	30	52,61	63,60	19,63	34,98	47,39

(1) Título do teste.

(2) Espaçamento entre linhas laterais (m).

(3) Espaçamento entre os aspersores ao longo da lateral (m).

(4) Coeficiente estatístico de uniformidade (%).

(5) Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%).

(6) "Novo coeficiente" de uniformidade (%).

(7) "Pattern efficiency" (%).

(8) Coeficiente de variação (%).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Os trabalhos de campo foram conduzidos em área plana, próxima do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola do C.C.A. da Universidade Federal de Viçosa, MG. Elaborou-se um programa de computador para calcular a uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão, usando-se as seguintes expressões: coeficiente de uniformidade de Christiansen, «novo coeficiente» de uniformidade, «pattern efficiency», coeficiente estatístico de uniformidade e coeficiente de variação.

Os cálculos foram baseados nos modelos de distribuição de água de um único aspersor, os quais foram obtidos de pluviômetros dispostos sobre a superfície do solo. Efetuou-se a superposição das alturas das lâminas de água, usando-se o modelo matemático, de acordo com a simulação de 10 diferentes combinações de espaçamentos entre os aspersores ao longo da lateral e entre as laterais.

O fluxograma do programa-fonte é apresentado na Figura 5. O programa foi desenvolvido na linguagem PL/I e rodado no computador IBM 360/40, da U.F.V.

Para os diversos testes realizados, o programa:

1. Efetua os cálculos relativos à superposição das alturas das lâminas de

QUADRO 2 - Saída do programa quando "KEY = 1"

Teste 19 - Pressão 2,0 atm - Tubo elev. 0,5 m - Veloc. vento 0,15 m/s (1)

30.26	33.51	36.23	34.42	29.61	27.53				
30.91	31.95	31.04	31.95	30.65	32.34				
34.29	27.27	25.19	25.71	32.73	36.49				
34.94	27.66	26.49	24.81	33.12	36.10				
31.30	28.96	27.01	28.18	30.78	32.73				
30.78	33.25	34.03	32.99	28.70	28.05				(2)
EL	EA	CEU	CUC	NCU	PEF	CV			
12	12	89.59	91.47	76.00	86.24	10.41			(3)
10.39	12.73	13.77	12.08	9.74	11.95	11.82	9.48	8.57	
12.47	16.23	14.68	11.30	9.61	12.47	14.16	11.69	9.87	
14.16	18.05	16.36	12.60	11.43	14.55	15.71	14.68	12.86	
13.25	15.84	15.58	15.45	15.06	15.32	13.90	11.69	12.21	
10.78	11.04	16.23	18.05	18.05	14.55	10.65	10.00	10.91	
12.86	13.64	16.10	18.70	17.53	15.32	13.90	12.21	13.12	
15.71	18.70	17.92	15.19	15.97	16.10	16.62	14.68	14.94	
14.68	19.09	15.19	12.34	11.82	16.10	17.92	14.81	13.13	
11.04	14.81	14.29	12.47	10.39	11.30	12.34	9.22	9.87	(4)
EL	EA	CEU	CUC	NCU	PEF	CV			(5)
18	18	81.17	84.15	61.00	76.58	18.83			

(1) Título do teste.

(2) e (4) Valores da superposição das alturas das lâminas de água (T(IX, IY)).

(3) e (5) Espaçamentos e valores das equações que expressam a uniformidade de distribuição de água.

água do aspersor com base na simulação de sistemas de irrigação por aspersão com diferentes combinações de espaçamento entre linhas laterais e entre aspersores ao longo das linhas laterais.

2. Determina os valores das equações que expressam a uniformidade de distribuição da água.

3. Não requer computadores de grande capacidade para que possa ser executado.

O modelo usado para efetuar a superposição dos dados de precipitação pode também ser empregado para os sistemas de irrigação por aspersão, nos quais são utilizados os aspersores «canhões».

5. SUMMARY

In this paper, a methodology to calculate the uniformity of water distribution in a sprinkler system is presented. As a measure of this uniformity, the following expressions were used: Christiansen's uniformity coefficient, the «new coefficient» of uniformity, pattern efficiency, statistical uniformity coefficient and the coefficient of variability.

The calculations are based on precipitation data of a single sprinkler pattern, obtained from catch cans placed by a square grid system on the area wet by a simulated irrigation system, with the following spacings between lateral lines and between sprinklers along the lateral line: 12 x 12, 18 x 12, 18 x 18, 24 x 12, 24 x 18, 24 x 24, 30 x 12, 30 x 18, 30 x 24, and 30 x 30m. The single sprinkler pattern of water distribution was considered as being representative of an irrigation system. Thus, the superposition of the water depth was carried out based on the spacings used.

The experiment was conducted in the area of the Hydraulics Laboratory, Department of Agriculture Engineering at the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

A computer program was developed to carry out the calculations relative to the superposition and to determine the coefficients.

6. LITERATURA CITADA

1. ASAE. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. In: Sprinkler Irrigation Committee, ed. *Agricultural Engineers Yearbook*. 20 th ed. 1973. p. 497-499.
2. ASBRASIL. ASPERSÃO NO BRASIL S.A., ed. S. Bernardo do Campo, 1974. 2p. (Folheto de dados técnicos de aspersores).
3. BARRETO, G.B. *Irrigação — Princípios, métodos e prática*. Campinas, São Paulo, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1974. 185 p.
4. BENAMI, A. & HORE, F.R. A new irrigation-sprinkler distribution coefficient. *Trans. of ASAE*, 7(2):157-158. 1964.
5. BRANSCHIED, V.O. & HART, W.E. Predicting field distribution of sprinkler systems. *Trans. of the ASAE*, 11(6):801-803, 808. 1968.
6. CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by sprinkler*. Berkeley, University of California, 1942. 124 p. (Bull. 670).
7. CHRISTIANSEN, J.E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*, 22(2):89-92. 1941.
8. CHU, S.T. & ALLRED, E.R. An analytic approach to determine irrigation sprinkler spacing. *Trans. of the ASAE*, 11(4):540-545. 1968.
9. DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinklers. *Trans. of the ASAE*, 9(1):94-97.
10. FERREIRA, E. *Relações entre métodos para determinação da uniformidade de distribuição em irrigação por aspersão*. Porto Alegre, U.F.R.G.S., 1976.

103 p. (Tese M.S.).

11. FORSYTHE, A.I., KEENAN, T.A., ORGANICK, E.I. & STENBERG, W. *Ciência de computadores*. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S.A., 1972. 551 p.
12. FRY, A.W. & GRAY, A.S. *Sprinkler irrigation hand-book*. 8 th. ed. Glendora, California, Rain Bird Sprinkler MFG. Corporation, 1969. 36 p.
13. GOMIDE, R.L. *Determinação e análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão*. Viçosa, U.F.V., 1978. 87 p. (Tese M.S.).
14. HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. *Agricultural Engineering*, 42(7):354-355. 1961.
15. NETTO, F.C.S. *PL/1 e suas aplicações*. Rio de Janeiro, Livraria Kosmos Editora, 1975. 339 p.
16. PAIR, C.H., HINZ, W.W., REID, C. & FROST, K.R. *Sprinkler irrigation*. 3 th ed. Washington, Sprinkler Irrigation Association, 1969. 444 p.
17. PAIR, C.H. *Sprinkler irrigation*. Washington, USDA, Soil and Water Conservation Research Division, 1970. 9 p. (Booklet 476).
18. PAIR, C.H. Water distribution under sprinkler irrigation. *Trans. of the ASAE*, 11(5):648-651. 1968.
19. SHULL, H. & DYLLA, A.A. Wind effects on water application patterns from a large, single nozzle sprinkler. *Trans. of the ASAE*, 19(3):501-504. 1976.