

Setembro e Outubro de 1980

VOL. XXVII

N.º 153

Viçosa — Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**ANÁLISE DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO
DA ÁGUA NO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
POR ASPERSÃO^{1/}**

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

1. INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão constitui um dos métodos mais usados nestes últimos tempos. Concorreu para isso a uniformidade de aplicação de água, a elevada eficiência do sistema, o fácil controle do volume de água a ser aplicado em cada irrigação, a possibilidade de aplicação de fertilizantes diluídos na água, a facilidade de automatização, a possibilidade de eliminação dos perigos de erosão e a potencialidade de seu emprego nas mais diversas topografias e tipos de solos.

A uniformidade depende não só do tipo de modelo de distribuição de água empregado, mas também do espaçamento entre os aspersores. Outros fatores, tais como velocidade e direção do vento, velocidade de rotação do aspersor, pressão de serviço, altura do tubo de elevação, diâmetro do bocal, são importantes e também influem na uniformidade de distribuição de água pelos aspersores.

Pesquisas que envolvem a aspersão em áreas de moderados a altos ventos

^{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/} EPAMIG, Fazenda Experimental de Santa Rita, Prudente de Moraes, MG.

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

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

constituem sério problema, porque os ventos alteram a distribuição da água, mesmo em instalações fixas estreitamente espaçadas, sendo, portanto, freqüentemente inaceitável o valor do coeficiente de uniformidade obtido.

O espaçamento entre os aspersores ao longo da lateral e entre as laterais deve ser reduzido para condições de velocidades de vento mais elevadas. Em locais em que a direção do vento é bastante variável, o espaçamento deve aproximar-se da forma quadrada, o que, geralmente, propicia melhor uniformidade de distribuição. Alternando-se o espaçamento dos aspersores nos dois sentidos, isto é, ao longo da lateral e entre as laterais, obter-se-á distribuição mais uniforme da água.

A determinação do coeficiente de uniformidades é o processo estatístico mais comum para avaliação de sistemas de irrigação por aspersão, sendo que, por convenção, 80% é o valor mínimo aceitável para um desempenho normal do aspersor.

Vários fatores influem na distribuição da água nos sistemas de irrigação por aspersão, podendo ser agrupados em fatores climáticos, fatores aerodinâmicos e fatores ligados ao aspersor, ao sistema de distribuição e ao manejo do sistema. Os fatores relacionados com o aspersor incluem: tamanho do bocal, ângulo do jato, velocidade de rotação, marca e modelo, pressão no bocal, número e tipo de bocal. Os ligados ao sistema de distribuição são os seguintes: espaçamento entre aspersores ao longo da lateral, espaçamento entre laterais, altura do aspersor em relação ao solo ou à cultura, estabilidade do tubo de elevação e variações na pressão do sistema. Os fatores climáticos incluem todas as condições de ambiente. Dessas, as mais importantes são a velocidade e a direção do vento. Podem-se enumerar outras, tais como a temperatura e a umidade relativa do ar. Os fatores de manejo do sistema englobam: duração da operação, velocidade de movimentação do aspersor ou da lateral sobre o solo, alinhamento das laterais e alinhamento dos tubos de elevação com a vertical. Os fatores aerodinâmicos envolvem a interação das gotas d'água dos aspersores adjacentes e as massas de ar colocadas em movimento pelos jatos d'água dos aspersores. Estes últimos ainda não foram medidos, mas observações qualitativas indicam sua existência (3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12).

Foi objetivo deste trabalho desenvolver uma equação de regressão múltipla para determinação e análise do coeficiente de uniformidade de Christiansen em função da altura do tubo de elevação do aspersor, do espaçamento entre aspersores ao longo da lateral, do espaçamento entre linhas laterais, da pressão no bocal do aspersor e da velocidade média do vento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos de campo deste estudo foram conduzidos numa área plana, localizada nas proximidades 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 de 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 que fica nas proximidades 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 manô-

metro de Bourdon, marca DOX, graduado em kg/cm^2 , 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 (4), CHRISTIANSEN (5) e DAVIS (7), foi o que emprega o modelo de distribuição de água de um único aspersor operando isoladamente. Esse modelo forneceu uma série de informações sobre a distribuição da água nas diversas condições em que o aspersor foi operado e, principalmente, sobre alguns dos fatores que influenciaram a uniformidade de aplicação, tais como vento, espaçamento dos aspersores, pressão de serviço, altura do tubo de elevação. 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 de acordo com 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 que se pudesse analisar 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 a seguinte equação:

$$V_r = 300/T$$

em que

V_r = velocidade de rotação (rpm),

T = tempo necessário para que o aspersor complete 5 voltas (s).

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

Foram também determinadas as velocidades setoriais de rotação nos 8 setores de 45 graus descritos pelo aspersor em cada volta completa. Para isso, foi usada a seguinte equação:

$$V_s = 7,5/t$$

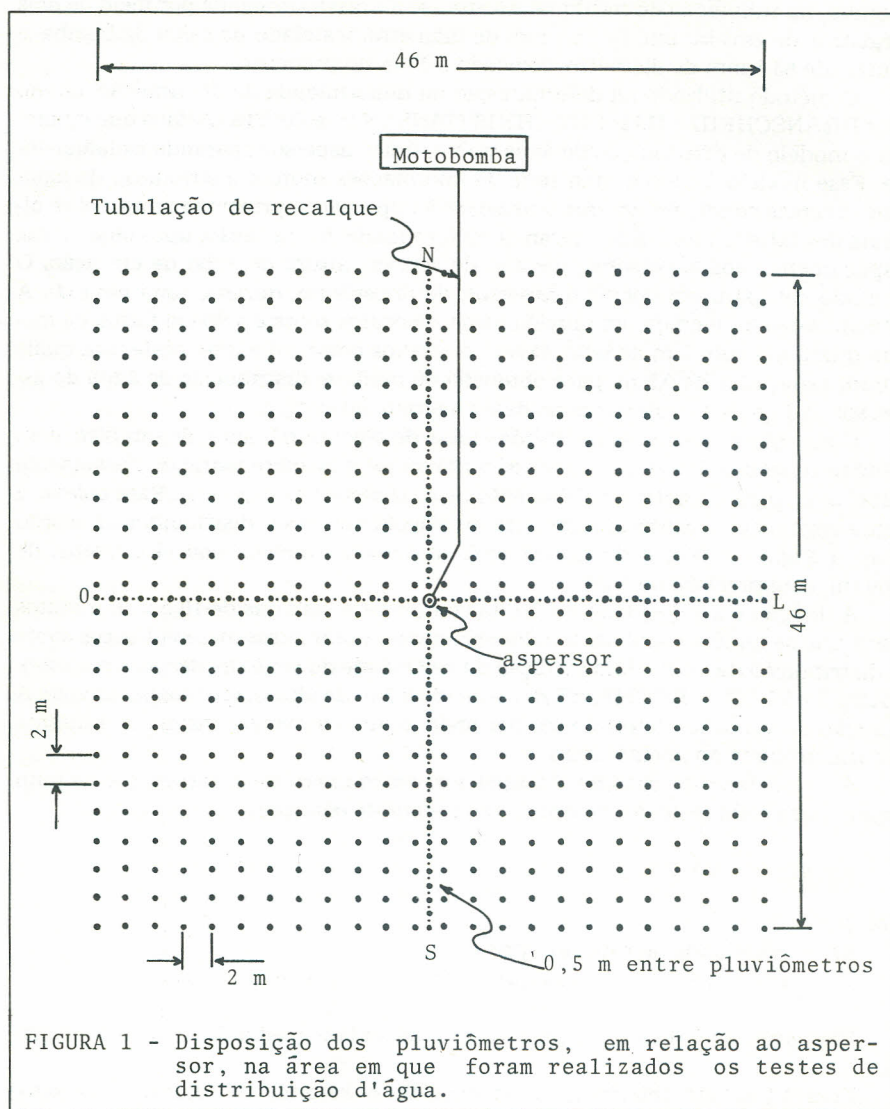
em que

V_s = velocidade de rotação setorial (rpm),

t = tempo necessário para que o aspersor percorra cada setor (s).

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 as-



persor, 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 (I). 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 de 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.

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

Todos 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 desejada;
- 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 aspersor;
- 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 o cálculo do coeficiente de uniformidade usou-se uma equação desenvolvida por CHRISTIANSEN (5), a qual, atualmente, é muito empregada:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right) \quad (I)$$

em que

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%),

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

\bar{X} = precipitação média (mm),

n = número de observações,

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

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Modelo Matemático

Há diversos fatores que podem ser tomados como variáveis e que alteram a uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão. Os principais são: espaçamento entre aspersores ao longo da linha lateral (EA), espaçamento entre linhas laterais (EL), pressão no bocal do aspersor (P), velocidade média do vento (VEV) e altura do tubo de elevação (ATU). A combinação desses fatores é que vai definir o valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Os dados de 76 testes realizados no campo foram usados no desenvolvimento da equação destinada a determinar o coeficiente de uniformidade de Christiansen. Escolheu-se esse coeficiente pelo fato de ser o mais empregado na aspersão. Nesses testes foram usados 10 diferentes espaçamentos, a pressão no bocal do

aspersor variou de 1,5 a 4,5 bares, a velocidade média do vento variou de 0 a 4 m/s e a altura do tubo de elevação de 0,5 a 2,0 m.

Usando os valores das variáveis mencionadas anteriormente, estabeleceu-se, por meio de análise de regressão, a equação

$$\text{CUC} = 55,207 + 3,195 \text{ EL} + 1,614 \text{ EA} + 5,918 \text{ VEV} + 2,204 \text{ ATU} - 0,103 \text{ EL}^2 - 0,048 \text{ EA}^2 + 0,253 \text{ VEV}^2 - 0,352 \text{ EL} \times \text{VEV} - 0,221 \text{ EA} \times \text{VEV}$$

Obteve-se um coeficiente de determinação de 0,96.

Os resultados da análise da variância da regressão encontram-se no Quadro 1.

QUADRO 1 - Resultados da análise de variância da regressão

F.V.	G.L.	SQ	QM	F
Devida à regressão	9	207.801,00	23.089,0000	2.219,83**
Indep. da regressão	750	7.800,94	10,4012	

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Feita a análise de testes de parâmetros dos dados em questão, verificou-se que todos os coeficientes foram significativos ao nível de 1% de probabilidade. Observa-se que somente foram significativas ao nível de 1% de probabilidade as interações entre os espaçamentos e a velocidade do vento.

A pressão no bocal do aspersor foi suprimida da equação porque não foi significativa para a faixa de variação usada nos testes, influenciando muito pouco o coeficiente.

O valor encontrado para F na análise de variância da regressão foi significativo ao nível de 1% de probabilidade (Quadro 1).

3.2. Influência do Espaçamento

3.2.1. Sem vento

Na Figura 2 vê-se a variação do coeficiente de uniformidade de Christiansen de acordo com o espaçamento entre as linhas laterais, para diferentes espaçamentos entre aspersores ao longo da lateral, quando a velocidade do vento foi fixada em 0,0 m/s (nula) e a altura do tubo de elevação em 0,5 m.

Verifica-se que houve um aumento no coeficiente até o ponto em que o espaçamento entre linhas laterais chegou a 16 m, quando o coeficiente atinge seu valor máximo. Isso aconteceu com todas as curvas em que se fixou o espaçamento entre os aspersores ao longo da lateral.

Nota-se que a equação de regressão ajustou-se bem aos valores de coeficiente de Christiansen, conforme indicam os pontos observados e plotados.

As curvas de maior espaçamento entre aspersores ao longo da lateral apresentaram coeficientes menores, exceto a de 12 m, cujos coeficientes foram menores

que os referentes à de 18 m. Nesse caso, o espaçamento de 12 m não foi adequado, podendo ter ocorrido superposições de segunda ou terceira ordem, o que talvez tenha sido a causa de um perfil de distribuição final mais irregular que o ocasionado pelo espaçamento de 18 m.

Para qualquer espaçamento, ficou evidente que a maior altura do tubo de elevação do aspersor resultou em maiores valores de coeficiente.

O melhor coeficiente foi obtido com o espaçamento de 16 x 18 m. Como as linhas de irrigação têm comprimento de 6 m, o espaçamento deve ter um valor que seja múltiplo desse número. No caso, 18 x 18 m seria o mais apropriado. Convém salientar, no entanto, que nem sempre o melhor espaçamento é o mais econômico. Pode ser que haja espaçamento maior que forneça um coeficiente aceitável, o que seria bem mais conveniente, pois seriam gastos menos tubulações, registros, aspersores, válvulas etc. Observando a Figura 2, nota-se que o espaçamento de 24 x 24 m forneceu um coeficiente acima do mínimo recomendado (80%).

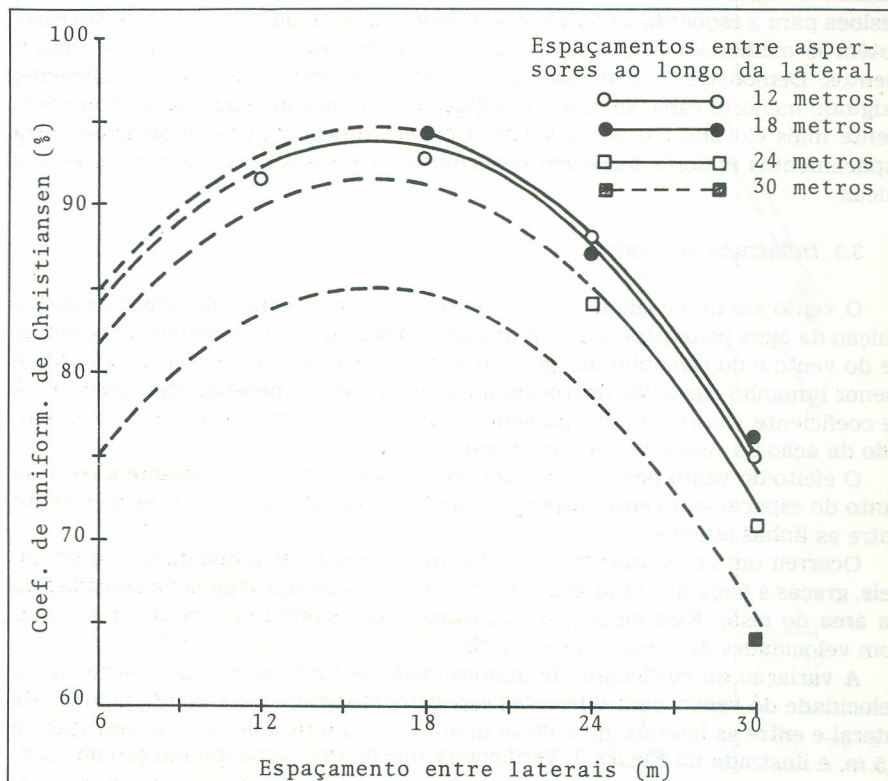


FIGURA 2 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen, de acordo com o espaçamento entre as linhas laterais, para diferentes espaçamentos entre os aspersores ao longo da lateral, considerando uma altura de tubo de elevação de 0,5 m e uma velocidade de vento de 2 m/s.

Tudo isso demonstra perfeitamente que há uma combinação de espaçamentos ideal para que haja uma superposição adequada, obtendo-se, desse modo, um coeficiente satisfatório. Essa superposição está diretamente ligada aos espaçamentos entre os aspersores, ao longo das laterais e entre as linhas laterais, e deve ocorrer nos dois sentidos.

A combinação entre os maiores espaçamentos forneceu menores valores de coeficiente, porque a superposição não foi adequada, ficando algumas partes da área irrigada com baixa ou nenhuma precipitação, o que deu origem a um perfil de distribuição bastante irregular. Isso foi constatado para os espaçamentos de 30 x 12, 30 x 18, 30 x 24 e 30 x 30 m.

2.2.2. *Com Vento*

Quando se consideraram velocidades de vento de 2 e 4 m/s (Figuras 3 e 4), verificou-se que a melhor curva foi a que apresentou menor espaçamento entre aspersores ao longo da lateral e que o valor máximo de coeficiente foi obtido para um espaçamento de 13 m entre linhas laterais, para velocidades de vento de 2 e 9 m/s, quando o vento foi de 4 m/s. Observou-se que o ponto de máximo da curva se desloca para a esquerda à medida que aumenta a velocidade do vento. Nesse caso, obtêm-se melhores coeficientes para as combinações entre os menores espaçamentos. Demonstra-se, com isso, que o vento influencia bastante o coeficiente, exigindo menores espaçamentos. O espaçamento mais indicado para obter coeficiente mais elevado é o de 12 x 12m. Convém salientar que combinações entre espaçamentos maiores fornecem coeficientes aceitáveis e são bem mais econômicas.

3.3. *Influência do Vento*

O vento altera o coeficiente de uniformidade, provocando distorção da distribuição da água pelos aspersores. A grandeza dessa distorção depende da velocidade do vento e do tamanho das gotas d'água. Velocidade de vento mais elevada e menor tamanho das gotas provocam maior distorção, fornecendo menores valores de coeficiente. Ocorre um alongamento do modelo de distribuição da água no sentido da ação do vento e uma diminuição no sentido oposto.

O efeito do vento pode ser consideravelmente diminuído mediante a redução tanto do espaçamento entre aspersores ao longo da lateral como do espaçamento entre as linhas laterais.

Ocorreu um arrastamento das gotas muito pequenas a distâncias consideráveis, graças à força do vento. Por isso, pequena quantidade d'água foi lançada fora da área do teste. Essa água não foi medida. Isso ocorreu nos ensaios realizados com velocidades de vento mais elevadas.

A variação do coeficiente de uniformidade de Christiansen de acordo com a velocidade do vento, para diferentes espaçamentos entre aspersores, ao longo da lateral e entre as laterais, quando se manteve uma altura de tubo de elevação de 0,5 m, é ilustrada na Figura 5. Verificou-se que ocorreu uma diminuição do coeficiente com o aumento da velocidade do vento. Essa diminuição foi bem mais acentuada para as maiores combinações de espaçamento.

3.4. *Influência da Altura do Tubo de Elevação*

Os tubos de elevação prestam-se para eliminar ou para reduzir a turbulência d'água, quando esta é derivada da linha de irrigação para o aspersor, garantindo

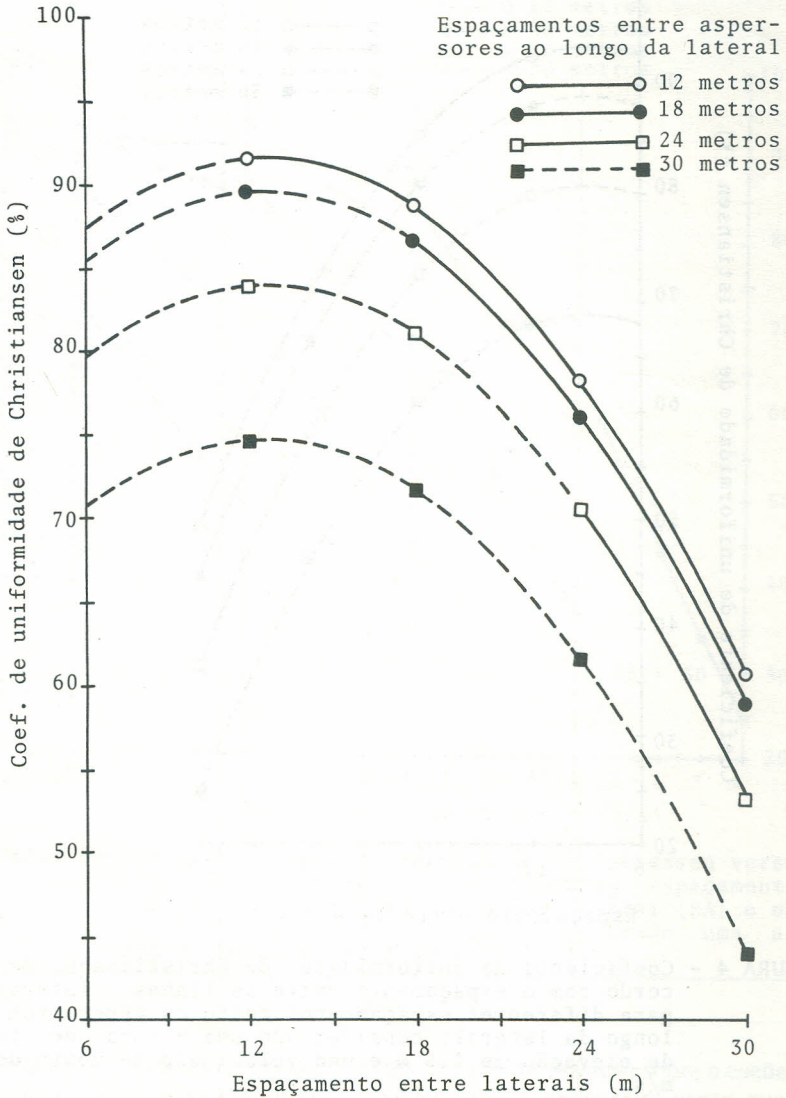


FIGURA 3 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen, de acordo com o espaçamento entre as linhas laterais, para diferentes espaçamentos entre os aspersores ao longo da lateral, considerando uma altura de tubo de elevação de 0,5 m e uma velocidade de vento de 2 m/s.

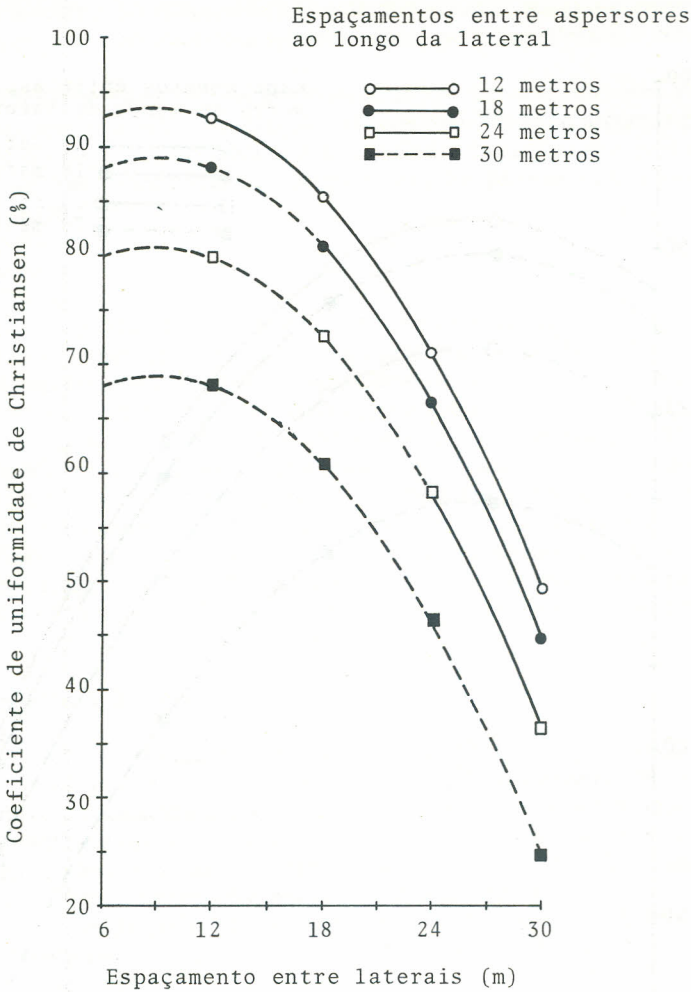
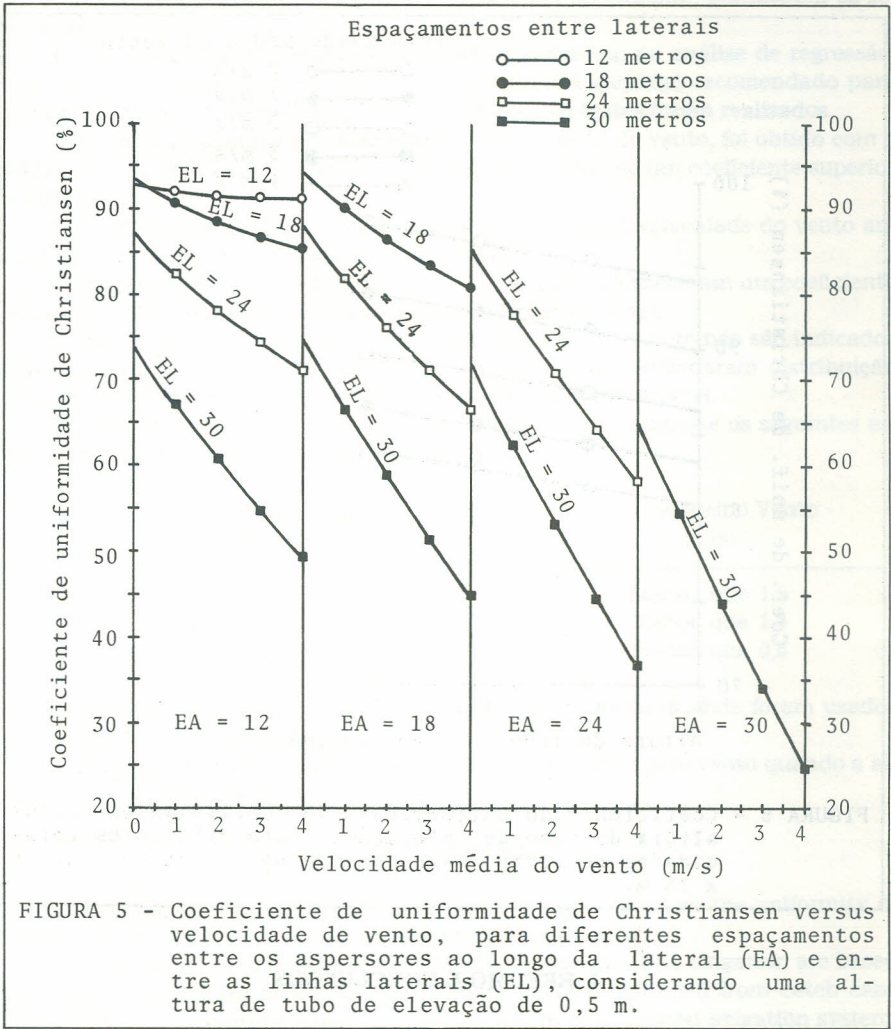


FIGURA 4 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen, de acordo com o espaçamento entre as linhas laterais, para diferentes espaçamentos entre os aspersores ao longo da lateral, considerando uma altura de tubo de elevação de 0,5 m e uma velocidade de vento de 4 m/s.

uma operação mais uniforme e eficiente.

A escolha da altura do tubo de elevação mais adequada depende do tipo da cultura que vai ser irrigada.

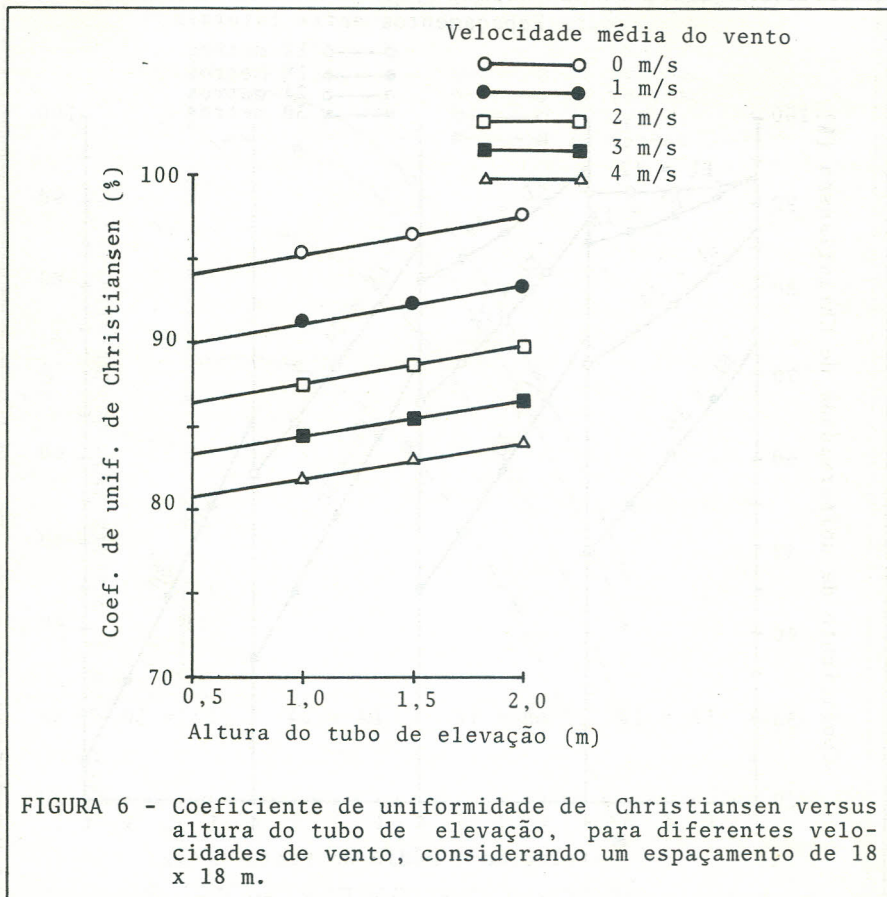
O tubo de elevação deve ser colocado perpendicularmente à superfície do solo e bem acoplado à linha lateral, para evitar vibrações. Os de 1,5 e 2,0 m de altura foram sustentados por um tripé.



A Figura 6 ilustra a influência da altura do tubo de elevação sobre o coeficiente de uniformidade de Christiansen, para diferentes velocidades de vento, quando se manteve um espaçamento de 18 x 18 m. Verifica-se que a elevação da altura do tubo favoreceu o aumento desse coeficiente. O efeito linear do tubo de elevação indica uma correção aditiva, no coeficiente, de 2,2% para cada metro de altura.

3.5. Pressão no Bocal do Aspersor

O coeficiente de uniformidade de Christiansen não foi influenciado pela pressão, para o intervalo de variação usado nos testes (1,5 a 4,5 bares). Provavelmente, isso aconteceu em razão de se ter trabalhado dentro dos limites recomendados



4. RESUMO E CONCLUSÕES

Neste trabalho, apresenta-se uma metodologia para a determinação e análise da uniformidade de distribuição da água na irrigação por aspersão.

Os cálculos dos coeficientes de uniformidade na irrigação por aspersão foram baseados nos modelos de distribuição d'água de um único aspersor, os quais foram obtidos de pluviômetros dispostos sobre a superfície do solo. Efetuou-se a superposição das alturas de lâmina d'água de acordo com a simulação de dez diferentes combinações de espaçamentos entre os aspersores ao longo da lateral e entre as laterais.

Os trabalhos de campo foram conduzidos em área plana, localizada nas proximidades do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, MG.

O trabalho teve como objetivo desenvolver uma equação para determinação e análise do coeficiente de uniformidade de Christiansen, de acordo com a altura do tubo de elevação do aspersor, a pressão no bocal, a velocidade média do vento, o

espaçamento entre os aspersores ao longo da lateral e o espaçamento entre as linhas laterais.

Os resultados encontrados, nas condições do experimento, permitiram as seguintes conclusões:

1. A equação de regressão estabelecida apresentou, na análise de regressão, um coeficiente de determinação de 0,96, sendo seu emprego recomendado para condições iguais ou semelhantes àquelas em que os testes foram realizados.

2. O melhor coeficiente, considerando nulo o efeito do vento, foi obtido com o espaçamento de 18 x 18 m; porém, o de 24 x 24 m forneceu um coeficiente superior a 80%.

3. O espaçamento deve ser reduzido à medida que a velocidade do vento aumenta, para garantir um coeficiente aceitável.

4. Os espaçamentos de 12 x 12, 18 x 12 e 18 x 18 m forneceram um coeficiente superior a 80%, para velocidades de vento inferiores a 4 m/s.

5. Os espaçamentos de 30 x 12, 30 x 18, 30 x 24 e 30 x 30 m não são indicados para nenhuma condição de velocidade de vento, pois ocasionaram distribuição d'água bastante irregular, fornecendo um coeficiente inaceitável.

6. Para obter um coeficiente superior a 80%, recomendam-se os seguintes espaçamentos, com as respectivas velocidades de vento:

Espaçamento (m x m)	Velocidade do Vento (m/s)
24 x 12	Menor que 1,5
24 x 18	Menor que 1,3
24 x 24	Menor que 0,6

7. Maiores coeficientes de uniformidade foram obtidos quando foram usados tubos de elevação mais altos.

8. O coeficiente de uniformidade foi mais influenciado pelo vento quando a altura do tubo de elevação foi aumentada.

5. SUMMARY

In this paper, a methodology to determine and to analyze the uniformity of water distribution in the sprinkler system is presented.

The calculations of uniformity coefficients in the sprinkler irrigation are based on precipitation data of the single sprinkler pattern, obtained from catch cans placed by a square grid system on the area wet by a simulated irrigation system, with 10 different combinations of spacings between lateral lines and between sprinklers along the lateral line. 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 spacing used.

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

The objective of this paper was to develop an equation to estimate Christiansen's uniformity coefficient as a function of the relation of the height of the elevation tube of the sprinkler, of the spacing between lateral lines, of sprinkler water pressure, of wind velocity, and of the spacing between sprinklers along the lateral line.

The principal conclusions can be summarized as follows:

1. The regression equation developed in the regression analysis, presented a determination coefficient of 0,96.
2. The best coefficient, considering wind velocity of 0 m/s, was obtained with 18 x 18 m spacings, but spacing of 24 x 24 m provided a coefficient of above 80%.
3. Spacing must be reduced in proportion to the increase of wind velocity to assure an acceptable coefficient.
4. Greater uniformity coefficient levels were obtained when higher sprinkler tubes were used.

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. 2 p. (Folheto de dados técnicos de aspersores).
3. BILANSKI, W.K. & KIDDER, E.H. Factors that affect the distribution of water from a medium-pressure rotary irrigation sprinkler. *Trans. of the ASAE*, 1(1):19-23, 28. 1958.
4. BRANSCHIED, V.O. & HART, W.E. Predicting field distributions of sprinkler systems. *Trans. of the ASAE*, 11(6):801-808. 1968.
5. CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley, University of California, 1942. 124 p. (Bull. 670).
6. DAKER, A. *A água na agricultura — Irrigação e drenagem*. 3.^a ed. Rio de Janeiro, Editora Freitas Bastos S.A., 1970. 453 p.
7. DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinklers. *Trans. of the ASAE*, 9(1):94-97. 1966.
8. FRY, A.W. & GRAY, A.S. *Sprinkler irrigation handbook*. 8th ed. Glendora, California, Rain Bird Sprinkler MFG. Corporation, 1969. 36 p.
9. PAIR, C.H., HINZ, W.W., REID, C. & FROST, K.R. *Sprinkler irrigation*, 3 th ed. Washington, Sprinkler Irrigation Association, 1969. 444 p.
10. PAIR, C.H. *Sprinkler irrigation*. Washington, USDA, Soil and Water Conservation Research Division, 1970. 9 p. (Booklet 476).
11. PAIR, C.H. Water distribution under sprinkler irrigation. *Trans. of the ASAE*, 11(5):648-651. 1968.
12. TIBAU, A.O. *Técnicas modernas de irrigação*. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1976. 227 p.