

## UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA, EM CONDIÇÕES DE CAMPO, NUM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO<sup>1/</sup>

Wilson Denículi <sup>2/</sup>  
Salassier Bernardo <sup>2/</sup>  
José Tarcísio Lima Thiébaud <sup>3/</sup>  
Gilberto C. Sedyama <sup>2/</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

A irrigação por gotejamento consiste na aplicação, no solo, de pequenas quantidades de água, porém com grande frequência, de modo que a umidade da região radicular da cultura seja mantida próxima da «Capacidade de Campo».

Esse método de irrigação vem-se desenvolvendo muito rapidamente nos últimos anos. Dentre as suas vantagens, destaca-se o eficiente uso da água, em razão da baixa quantidade perdida por percolação profunda e evaporada da superfície do solo.

Os gotejadores constituem uma das peças que exigem maiores cuidados nesse método de irrigação. A uniformidade de aplicação de água dependerá de problemas de entupimento, variação no processo de fabricação dos gotejadores e variação de pressão ao longo da linha lateral (6).

Para determinado valor do Coeficiente de Uniformidade, o máximo compri-

---

<sup>1/</sup> Trabalho baseado na tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola.

Recebido para publicação em 30-10-79. Projeto n.º 4.1763 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

<sup>2/</sup> Universidade Federal de Viçosa — Dep. de Engenharia Agrícola. 36570 — Viçosa — MG.

<sup>3/</sup> Universidade Federal de Viçosa — Dep. de Matemática. 36570 — Viçosa — MG.

mento da linha lateral pode ser calculado por meio de equações preestabelecidas (2).

No dimensionamento de um sistema de irrigação por gotejamento, o critério mais comumente aceito é o de permitir uma variação máxima de 10% na vazão dos gotejadores que funcionam simultaneamente (4).

Variações da temperatura da água podem acarretar desuniformidade na vazão dos gotejadores (7). Estudos feitos em laboratório levaram à conclusão de que temperaturas entre 20,5° e 32°C não tiveram influência na vazão do gotejador Irriga, havendo uma variação de 8,13%, decorrente da variação no processo de fabricação desses gotejadores (5).

Este trabalho teve como objetivo a comparação de quatro métodos para cálculo do Coeficiente de Uniformidade de distribuição de água.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, numa área de 2.000m<sup>2</sup>. O terreno apresenta topografia plana e boa drenagem. A água utilizada na irrigação foi derivada de uma linha adutora, proveniente de uma barragem, com um desnível de aproximadamente 35 metros, em relação à área.

Para determinar o Coeficiente de Uniformidade de todo o sistema de irrigação e das linhas laterais, utilizou-se o gotejador Irriga, de múltipla saída.

Trabalhou-se com 48 linhas laterais de polietileno, cada uma com 43 metros de comprimento de 13 mm de diâmetro nominal. Em cada linha lateral foram instalados 20 gotejadores, espaçados, uniformemente, de 2 em 2 metros. Cada gotejador era provido de 4 saídas de água, às quais foram adaptados 4 microtubos, com 3 mm de diâmetro nominal e 1 m de comprimento.

Para o cálculo do Coeficiente de Uniformidade entre saídas de gotejadores, para cada linha lateral, foram utilizados os seguintes métodos:

Método de CHRISTIANSEN (1):

$$CUC = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) 100 \quad (\text{eq. 1})$$

em que

CUC = Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN, em percentagem;

$X_i$  = precipitação obtida no coletor de ordem  $i$  (ml);

$\bar{X}$  = precipitação média dos coletores (ml);

$n$  = número de amostras coletadas.

Por meio desse método determinou-se também o Coeficiente de Uniformidade de todo o sistema de irrigação.

Método de PATTERN-EFFICIENCY (1):

$$PE = \frac{100 \bar{x}}{\bar{X}} \quad (\text{eq. 2})$$

em que

PE = Coeficiente de Uniformidade de PATTERN-EFFICIENCY, em percentagem;

$\bar{x}$  = média dos 25% dos primeiros dados dispostos em ordem crescente (ml);

$\bar{X}$  = média de todos os dados coletados (ml).

Método proposto por MERRIAN, KELLER e ALFARO (3):

É um método que simplifica a equação de PATTERN-EFFICIENCE. A coleta de dados de cada lateral é feita em apenas 4 gotejadores distintos, ou seja: primeiro gotejador, gotejador situado a 1/3 do comprimento da lateral, gotejador situado a 2/3 do comprimento e último gotejador. O Coeficiente de Uniformidade é calculado pela expressão

$$CUMKA = \frac{100 q_n}{q_a} \quad (\text{eq. 3})$$

em que

CUMKA = Coeficiente de Uniformidade, proposto por MERRIAN, KELLER e ALFARO, em percentagem;

$q_n$  = menor valor da vazão (ml);

$q_a$  = média das quatro vazões (ml).

Novo Método para a Determinação do Coeficiente de Uniformidade:

Esse método também é uma simplificação do método de PATTERN-EFFICIENCE. A coleta de dados de cada lateral foi feita como se segue: primeiro gotejador, gotejadores situados a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7 e 6/7 do comprimento da lateral e último gotejador.

Para cada lateral, o Coeficiente de Uniformidade é calculado pela equação

$$NC = \frac{100 \bar{q}}{\bar{Q}} \quad (\text{eq. 4})$$

em que

NC = Novo Coeficiente de Uniformidade, em percentagem;

$\bar{q}$  = média das duas menores vazões (ml);

$\bar{Q}$  = média das oito vazões (ml).

A pressão de serviço utilizada nas linhas laterais foi de 10 metros de coluna de água, em média.

Para a determinação da variação de pressão foi medida a pressão no início e no final de cada linha lateral.

Foi registrada também a temperatura da água no início e no final de cada linha lateral.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação média de pressão ao longo de cada linha lateral foi de 10%, sendo considerada dentro do limite permitido (4). A variação de temperatura no início e no final de cada linha lateral foi de 1°C, o que, praticamente, não influi na vazão dos gotejadores (5).

No Quadro 1 podem ser observados os Coeficientes de Uniformidade para cada linha lateral, determinados pelos quatro métodos (CUC, PE, CUMKA e NC). Nota-se que o método de PE conduz a valores de Coeficientes de Uniformidade mais baixos, quando comparados aos valores determinados pelo método de CUC, em razão de ser este mais influenciado por extremos de vazão inferiores de vazão. Por outro lado, os métodos de CUMKA e NC apresentaram valores bastante discrepantes quando comparados com os de CUC e PE, pelo fato de serem calculados com dados



QUADRO 1 - Coeficientes de Uniformidade determinados por meio dos quatro métodos, para 48 linhas laterais, em regime de campo

Nº da linha lateral	CUC (%)	PE (%)	CUMKA (%)	NC (%)
1	83,98	75,00	76,60	65,00
2	79,58	64,62	72,80	68,80
3	79,60	72,14	79,60	82,00
4	82,06	71,56	88,80	61,70
5	80,45	64,12	69,00	70,90
6	80,85	71,23	75,90	73,70
7	82,40	73,01	73,80	72,90
8	89,04	81,74	82,20	84,60
9	86,18	79,65	81,30	91,30
10	85,83	78,60	83,20	84,50
11	84,40	77,73	84,60	79,70
12	89,28	83,49	87,60	86,30
13	81,69	68,54	73,70	84,50
14	81,60	72,00	90,80	76,90
15	85,04	78,52	84,60	82,80
16	86,23	80,00	77,00	74,80
17	84,61	74,01	86,70	80,50
18	85,24	79,10	71,80	82,80
19	82,30	75,74	81,90	72,30
20	86,39	80,00	84,70	77,10
21	79,94	69,00	64,20	72,60
22	85,33	80,28	81,60	77,50
23	83,54	75,00	88,60	74,40
24	86,35	74,42	84,80	79,70
25	75,93	59,75	64,90	69,10
26	82,92	71,84	86,70	73,60
27	85,78	80,00	78,50	77,50
28	85,98	80,57	75,60	81,80
29	86,66	79,56	82,00	85,20
30	84,72	77,32	79,50	69,90
31	86,79	80,11	93,10	89,60
32	86,18	78,26	79,10	79,70
33	85,60	78,49	87,10	83,80
34	86,21	80,34	85,20	78,80
35	84,48	76,88	69,00	84,60
36	85,32	80,00	82,70	82,30
37	81,69	69,87	29,20	61,70
38	79,91	68,46	40,20	57,10
39	84,89	77,11	76,30	69,50
40	88,17	80,00	81,70	80,50
41	83,79	74,69	50,60	65,50
42	86,26	77,65	75,00	68,00
43	89,92	83,85	87,20	85,70
44	84,55	77,84	86,30	80,30
45	85,81	77,71	58,10	72,80
46	83,26	79,78	93,50	85,50
47	85,07	79,14	79,00	83,50
48	84,87	73,51	89,00	65,70

CUC de todo o sistema = 84,29%.

de 4 e 8 gotejadores, respectivamente, ao passo que para CUC e NC todos os valores são considerados.

A associação existente entre os quatro métodos foi feita por Correlação Simples, conforme o Quadro 2.

QUADRO 2 - Matriz de Correlação Simples entre os Coeficientes de Uniformidade determinados pelos quatro métodos

	CUC	PE	CUMKA	NC
CUC	1,0000	0,9106**	0,4124**	0,5331**
PE		1,0000	0,4485**	0,5917**
CUMKA			1,0000	0,5638**
NC				1,0000

\*\* Significativo, ao nível de 1% de probabilidade

A melhor associação foi a obtida entre os métodos de CHRISTIANSEN e PATTERN-EFFICIENCY ( $r = 0,9106$ ).

Diante da alta associação encontrada entre CUC e NC, foi possível estabelecer uma equação de regressão que relacionasse um método com o outro, tomando-se CUC como padrão. A equação de regressão estimada foi a seguinte:

$$PE = -465,883 + 11,2678 \text{ CUC} - 0,057368 \text{ CUC}^2 \quad (\text{eq. 5})$$

Essa equação foi determinada para Coeficientes de Uniformidade de 76 a 90%, obtidos pelo método de CHRISTIANSEN.

No Quadro 3 encontram-se as variâncias estimadas dos Coeficientes de Uniformidade obtidos pelos quatro métodos. Mediante esse quadro, pode-se concluir que o método de CHRISTIANSEN leva a uma determinação mais precisa do Coeficiente de Uniformidade, seguido pelo de PATTERN-EFFICIENCY.

QUADRO 3 - Estimativa das variâncias ( $s^2$ ) dos Coeficientes de Uniformidade determinados pelos quatro métodos

Métodos	$s^2$
CUC	7,78
PE	26,44
NC	62,25
CUMKA	158,32

A menor variância apresentada pelos dois primeiros métodos ocorre porque no

cálculo do Coeficiente de Uniformidade são usados todos os valores de vazões dos gotejadores, ao passo que para os métodos de NC e CUMKA os valores de vazões usados são poucos e, portanto, menos representativos.

Para verificar a equivalência estatística entre os quatro métodos, usou-se o teste de Kruskal-Wallis, que acusou significância ao nível de 5% de probabilidade, indicando pelo menos uma diferença entre os métodos, quando comparados dois a dois. Para a complementação desse teste, usou-se o teste de Comparações Múltiplas, cujo resultado encontra-se no Quadro 4.

QUADRO 4 - Teste de Comparações Múltiplas entre os quatro métodos

Métodos (i, j)	d.m.s.	$ \bar{R}_i - \bar{R}_j $
(CUC, PE)	29,14	77,83*
(CUC, CUMKA)	29,14	42,85*
(CUC, NC)	29,14	61,33*
(PE, CUMKA)	29,14	34,98*
(PE, NC)	29,14	16,50 NS
(CUMKA, NC)	29,14	18,48 NS

NS = Não significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

\* = Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

Nesse quadro vê-se que o método de CHRISTIANSEN difere estatisticamente dos demais, pois conduz a valores de Coeficiente de Uniformidade superiores. O método de MERRIAN, KELLER e ALFARO conduz a valores estatisticamente superiores aos de PATTERN-EFFICIENCY e iguais ao do Novo Coeficiente. Os métodos de PATTERN-EFFICIENCY e Novo Coeficiente não diferem estatisticamente.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Foi conduzido, na Universidade Federal de Viçosa, um estudo sobre a uniformidade de distribuição de água, em regime de campo, num sistema de irrigação por gotejamento.

Foram utilizadas 48 linhas laterais de polietileno, cada uma com 20 gotejadores da marca Irriga, espaçados de 2 em 2 metros, uniformemente. Cada gotejador era provido de quatro saídas de água; a cada saída foi adaptado um microtubo de 3 mm de diâmetro nominal e 1 m de comprimento. Cada gotejador irrigava 4 covas diferentes.

No cálculo dos Coeficientes de Uniformidade entre saídas de gotejadores foram utilizados os seguintes métodos:

- Método de CHRISTIANSEN,
- Método de PATTERN-EFFICIENCY,
- Método proposto por MERRIAN, KELLER e ALFARO,
- Método denominado Novo Coeficiente.



O método de CHRISTIANSEN também foi utilizado no cálculo do coeficiente de todo o sistema de irrigação.

A associação existente entre os quatro métodos foi determinada por meio de Correlação Simples.

A relação existente entre o método de CHRISTIANSEN e o de PATTERN-EFFICIENCY foi estabelecida por uma equação de regressão.

A equivalência estatística entre os quatro métodos foi obtida por meio do teste de Kruskal-Wallis, associado ao teste de Comparações Múltiplas.

Diante dos resultados obtidos nesse trabalho, chegou-se às seguintes conclusões:

O sistema de irrigação analisado apresentou um Coeficiente de Uniformidade de 84,29%, determinado pelo método de CHRISTIANSEN.

Os métodos de CHRISTIANSEN e PATTERN-EFFICIENCY relacionaram-se significativamente por meio da seguinte equação de regressão:

$$PE = 465,883 + 11,2678 \text{ CUC} - 0,057368 \text{ CUC}^2$$

O método de CHRISTIANSEN conduz a valores de Coeficiente de Uniformidade estatisticamente superiores aos dos métodos de MERRIAN, KELLER e ALFARO, PATTERN-EFFICIENCY e Novo Coeficiente.

Para as condições do trabalho, os métodos mais precisos para a determinação do Coeficiente de Uniformidade foram, em ordem decrescente: CHRISTIANSEN, PATTERN-EFFICIENCY, Novo Coeficiente e MERRIAN, KELLER e ALFARO.

## 5. SUMMARY

The objective of this study was to determine the uniformity of water distribution of a drip irrigation system, under field conditions, using the following equations: Christiansen; Pattern-Efficiency; New Coefficient; and, Merrian, Keller and Alfaro Coefficient.

The following conclusions were reached:

- The irrigation system analysed had a Christiansen uniformity coefficient (CUC) of 84.29%
- The Christiansen (CUC) and the Pattern-Efficiency (PE) were related by the following regression equation:

$$PE = 465.9 + 11.3 \text{ CUC} - 0.057 \text{ CUC}^2$$

- The equations to determine the uniformity of water distribution, in order of decreasing precision, were: Christiansen; Pattern-Efficiency; New Coefficient; and, Merrian, Keller and Alfaro Coefficient.

## 6. LITERATURA CITADA

1. CHRISTIANSEN, J.E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*, 22(2):89-92. 1941.
2. HOWELL, T.A. & HILER, E.A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2nd, Riverside, 1974. Proceedings, p. 299-304.
3. MERRIAN, J.L., KELLER, J. & ALFARO, J.F. *Irrigation system evaluation and improvement*. Logan, Utah State University, 1973. 163 p.
4. KELLER, J. & KARMEI, D. Trickle irrigation design parameters.

*Transactions of the ASAE*, 17(4):678-684. 1974.

5. OLIVEIRA, C.A. da S. *Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais de irrigação por gotejamento*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1978. 72 p. (Tese M.S.).
6. OLITTA, A.F.L. *Os métodos de irrigação*. São Paulo, Livraria Nobel, 1977. 267 p.
7. PARCHOMCHUCK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. *Transactions of the ASAE*, 19(4):690-692. 1976.