

DIFERENTES EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA: ASPERSÃO CONVENCIONAL

F. F. da CUNHA¹; M. M. RAMOS²; C. A. B. de ALENCAR¹; R. C. G. da SILVA¹;
R. O. BATISTA¹; M. R. VICENTE¹; J. A. R. de SOUZA¹

RESUMO: Objetivou-se no presente trabalho comparar as equações que calculam a uniformidade de aplicação de água para o sistema de irrigação por aspersão convencional. Avaliou-se 20 equipamentos por meio do teste de uniformidade de distribuição de água. As equações utilizadas foram: coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), de distribuição (CUD), absoluto (CUA), estatístico (CUE), de Hart (CUH), de Benami e Hore (CUBH) e eficiência padrão da HSPA (UDH). Para análise estatística, considerou o CUC a equação padrão, em que as demais foram comparadas com auxílio do teste t para dados pareados. Os valores de uniformidade calculados pelo CUC não diferiram dos valores calculados pelo CUBH e foram superiores aos calculados pelas demais equações estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência de irrigação, coeficientes de uniformidade, CUC e CUD.

DIFFERENT EQUATIONS FOR CALCULATION OF THE UNIFORMITY OF WATER APPLICATION: CONVENTIONAL SPRINKLER

SUMMARY: It was aimed in the present work to compare the equations that calculate the uniformity of water application for the irrigation system for conventional sprinkler. It was evaluated 20 equipments by means of the test of uniformity of water distribution. The used equations were: coefficient of uniformity of Christiansen (CU), of distribution (DU), absolute (UA), statistical (UE), of Hart (UH), of Benami and Hore (UBH) and standard of HSPA efficiency (DH). Para statistical analysis, considered CU the equation pattern, in that the others were compared with aid of the test "t". The uniformity values calculated by CU didn't differ of the values calculated by UBH and they went largest to the calculated by the other studied equations.

KEYWORDS: Irrigation efficiency, uniformity coefficients, CU and DU.

¹ Pós-Graduando em Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa-MG, E-mail: cunhaff@yahoo.com.br; c.brasileiro@yahoo.com.br; rodrigocharnet@hotmail.com; eng.batista@gmail.com; marcelo@irriga.com.br; jarstec@yahoo.com.br

² D.S., Professor, DEA/UFV, Viçosa-MG, E-mail: mmramos@ufv.br

INTRODUÇÃO

O sistema de aspersão convencional é considerado o sistema básico, do qual derivaram todos os demais. É um método que possibilita o bom controle da lâmina d'água aplicada. De modo geral, a eficiência do método é ao redor de 70%, podendo alcançar 90% em alguns sistemas ou até 50% em condições severas de clima. O vento, a umidade relativa do ar e a temperatura são os principais fatores climáticos que afetam o uso da irrigação por aspersão. O vento afeta a uniformidade de distribuição dos aspersores e, juntamente com a temperatura e a umidade relativa do ar, afetam a perda de água por evaporação.

A uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas e é considerada um dos fatores mais importantes no dimensionamento e na operação de sistemas de irrigação. O conceito de uniformidade de distribuição foi introduzido por Christiansen em 1942, referindo-se à variabilidade da lâmina de água aplicada ao longo da extensão da superfície do terreno irrigado. A uniformidade de distribuição de água apresenta, em qualquer sistema de irrigação, importantes conseqüências na economia do projeto. Reduzidos valores de uniformidade determinam, em geral, maior consumo de água e energia, maior perda de nutrientes e, ao mesmo tempo, podem proporcionar plantas com déficits hídricos, em significativa proporção da área irrigada (BARRETO FILHO et al., 2000).

Muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação. O primeiro deles foi proposto por CHRISTIANSEN (1942) e adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão (CUC). CRIDDLE et al. (1956) introduziram outra medida da uniformidade, considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada (CUD). KARMELI & KELLER (1975) propuseram uma medida de uniformidade que inclui as razões das vazões máxima e mínima dos emissores com a média (CUA). WILCOX & SWAILES (1947) propuseram um coeficiente de uniformidade utilizando o desvio-padrão como medida de dispersão, para o qual se aceitam valores acima de 75% (CUE). Já HART (1961) propôs um coeficiente de uniformidade usando também o desvio-padrão como medida de dispersão (CUH). Quando a lâmina de água aplicada pelos aspersores tem distribuição normal, tem-se que CUC é igual a CUH. O último autor propôs, ainda, outro coeficiente para representar a uniformidade de distribuição da água conhecido como eficiência padrão da HSPA (UDH) sendo que, quando a lâmina de irrigação aplicada tem distribuição normal, o CUD é igual a UDH. BENAMI & HORE (1964) propuseram uma medida de uniformidade que inclui a razão da média de grupos com vazões superiores e inferiores a média coletada (CUBH).

O objetivo do presente trabalho foi comparar os valores de uniformidade de aplicação de água de sistema de irrigação por aspersão convencional calculados por diferentes equações.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 20 sistemas de irrigação por aspersão convencional por meio do teste de uniformidade de distribuição da água. Para a determinação da uniformidade, foi utilizado o kit de uniformidade, constituído de pluviômetros, hastes e proveta graduada. A área entre os aspersores foi dividida em subáreas retangulares de dimensões de 9 m². Os coletores foram colocados no centro de cada subárea, sendo que o volume coletado representou a precipitação em cada subárea. Os volumes coletados nos pluviômetros foram convertidos em lâminas d'água, dividindo o volume coletado pela área de abrangência do coletor. A evaporação de água foi quantificada por um pluviômetro de volume inicial conhecido, sendo que, no final dos testes, foi feita a leitura no mesmo pluviômetro, em que a diferença correspondeu à evaporação durante a realização dos testes. Esta diferença foi acrescida à leitura dos pluviômetros.

De posse aos dados coletados, calculou-se a uniformidade de aplicação de água por meio dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD, CUA, CUE, CUH, UDH e CUBH pelas Equações 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

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

$$CUD = 100 \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \quad (2)$$

$$CUA = 50 \left[\frac{X_{25\%}}{\bar{X}} + \frac{\bar{X}}{X_{12,5\%}} \right] \quad (3)$$

$$CUE = 100 \left[1 - \frac{S}{\bar{X}} \right] \quad (4)$$

$$CUH = 100 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\frac{S}{\bar{X}} \right)} \right\} \quad (5)$$

$$UDH = 100 \left(1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (6)$$

$$CUBH = 166 \frac{N_A}{N_B} \left[\frac{2 T_B + D_B M_B}{2 T_A + D_A M_A} \right] \quad (7)$$

em que, CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %; CUD é o coeficiente de uniformidade de distribuição, em %; CUA é o coeficiente de uniformidade absoluto, em %; CUE é o coeficiente de uniformidade estatístico, em %; CUH é o coeficiente de uniformidade de Hart, em %; UDH é a eficiência padrão da HSPA, em %; CUBH é o coeficiente de uniformidade de Benami e Hore, em %; X_i a precipitação observada nos coletores, em mm; \bar{X}

a média das precipitações, em mm; n o número de coletores; $X_{25\%}$ a média de 25% do total de coletores, com as menores precipitações, em mm; $X_{12,5\%}$ a média de 12,5% do total de coletores, com as maiores precipitações, em mm; S o desvio-padrão dos dados de precipitação, em mm; M_A a média do grupo de dados de precipitação acima da média geral, em mm; M_B a média do grupo de dados de precipitação abaixo da média geral, em mm; D_A a diferença entre o número de dados de precipitação abaixo e acima de M_A , em decimal; D_B a diferença entre o número de dados de precipitação abaixo e acima de M_B , em decimal; N_A o número de dados de precipitação acima da média geral, em decimal; N_B o número de dados de precipitação abaixo da média geral, em decimal; T_A a soma dos dados de precipitação acima de M_A , em mm; e T_B a soma dos dados de precipitação abaixo de M_B , em mm.

Para comparar as equações, considerou o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) a equação padrão. As comparações foram realizadas com auxílio do teste t para dados pareados utilizando 1% de significância. Para execução das análises estatísticas, foi utilizado o programa estatístico SAEG 9.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados a comparação entre o CUC e demais equações estudadas para o sistema de irrigação por aspersão. Devido a heterogeneidade encontrado para o CUBH, e consecutivamente seu alto desvio-padrão, seus valores não diferiram ($p>0,01$) dos valores calculado pelo CUC. As demais equações utilizadas para cálculo da uniformidade de aplicação de água apresentaram valores menores ($p<0,01$) que os calculados pelo CUC. Diversos trabalhos na literatura mostram que o CUC proporciona maior valor de uniformidade em relação ao CUD (ROCHA et al., 1999; REZENDE et al., 1998; entre outros). REZENDE (1992) afirma que o fato do CUD ser sempre menor que CUC é inerente às variáveis das equações utilizadas na determinação desses coeficientes, pois no cálculo de CUD consideram-se apenas 25% da área que recebeu menos água. Essas conclusões foram afirmadas por KELLER & BLIESNER (1990) acrescentando que CUD pode estar relacionado ao CUC, pela expressão $CUD = 100 - 1,59 (100 - CUC)$. ROCHA et al. (1999) trabalhando com o sistema de irrigação por aspersão e avaliando a uniformidade de aplicação de água utilizando diferentes equações, observou em três testes que os valores calculados ficaram assim em ordem decrescente: CUC, CUH, CUE, CUD e UDH, respectivamente. No presente trabalho, o CUE proporcionou maior média em relação ao CUH, porém nos testes de menor uniformidade, verificou-se que o CUH proporcionou maiores valores em relação ao CUE.

Tabela 1 – Valores de uniformidade de aplicação de água calculado por diferentes equações para testes realizados no sistema de irrigação por aspersão

Teste	Equações						
	CUC	CUD	CUA	CUE	CUH	UDH	CUBH
1	96,71	95,36	92,75	94,65	81,54	93,20	84,76
2	91,96	88,23	87,69	90,62	75,56	88,09	119,96
3	89,25	92,88	87,84	86,83	71,04	83,27	211,66
4	89,65	83,21	84,39	87,66	71,97	84,33	163,48
5	86,05	77,33	78,61	83,05	67,15	78,47	156,84
6	81,68	73,77	72,02	77,22	61,91	71,06	85,18
7	85,16	52,97	67,97	82,43	66,56	77,69	34,63
8	79,85	72,86	69,70	73,92	59,26	66,88	44,95
9	75,89	63,36	66,36	71,00	57,03	63,17	68,47
10	90,31	63,90	66,34	88,21	72,61	85,03	77,38
11	71,51	51,56	57,25	62,96	51,44	52,96	104,68
12	65,71	50,48	52,29	55,74	46,92	43,78	65,45
13	57,64	29,14	43,87	48,76	42,89	34,92	55,13
14	58,18	22,77	41,44	48,04	42,49	34,01	59,55
15	49,81	16,18	37,03	42,58	39,54	27,08	42,98
16	44,11	18,10	36,96	38,67	37,51	22,11	36,14
17	40,41	16,14	33,58	32,54	34,47	14,32	28,77
18	33,29	7,69	28,68	27,40	32,01	7,80	19,75
19	37,55	14,38	28,76	26,60	31,64	6,78	23,41
20	32,58	5,64	27,64	26,10	31,41	6,15	18,09
\bar{x}	67,86	49,80	58,06	62,25	53,75	52,06	75,06
S	21,88	30,94	22,12	24,17	16,67	30,70	52,93
S dif.	-	11,77	5,57	3,07	6,43	9,11	40,58
p -valor	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4374

\bar{x} - média amostral; S - desvio padrão amostral; S dif. - desvio padrão da diferença dos valores da coluna com os da equação padrão (CUC); p -valor - comparação das equações com a padrão (CUC) pelo teste t, valores acima de 0,01 significa que a equação comparada é semelhante a equação padrão e valores abaixo de 0,01 é diferente.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que os valores de uniformidade calculados pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen não diferem dos valores calculados pelo coeficiente de uniformidade de Benami e Hore e são superiores aos calculados pelas demais equações estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETO FILHO, A. A.; DANTAS NETO, J.; MATOS, J. A.; GOMES, E. M. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 309-314, 2000.
- BENAMI, A.; HORE, F. R. A new irrigation-sprinkler distribution coefficient. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 7, n. 2, p. 157-158, 1964.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670.
- CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKLEY, D. G. **Methods for Evaluating Irrigation Systems**. Washington DC: Soil Conservation Service - USDA, 1956. 24p. Agricultural Handbook, 82.
- HART, W. E. Overhead irrigation pattern parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 42, n. 7, p. 354-355, 1961.
- KARMEI, D.; KELLER, J. **Trickle Irrigation Design**. Glendora: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 132p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. New York: AVI Book, 1990. 652p.
- REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 257-261, 1998.
- REZENDE, R. **Desempenho de um sistema de irrigação por pivô central quanto à uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo**. Piracicaba: ESALQ, 1992. 86p. (Dissertação de Mestrado).
- ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 154-160, 1999.
- WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, Ottawa, v. 27, n. 11, p. 565-583, 1947.