

VALIDAÇÃO EM CAMPO DAS EQUAÇÕES DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE NO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR GOTEJO¹

J. M. G. PEREIRA², C. M. CARVALHO³, W. M. ELOI⁴, S. C. R. V. LIMA⁵, A. M. M. MESQUITA⁶, F. R. M. BORGES⁷, F. R. BENÍCIO⁷ & R. R. GOMES FILHO⁸

RESUMO: Este trabalho foi desenvolvido na Escola Agrotécnica Federal do Crato-CE, com a finalidade de verificar a validação em campo das equações de uniformidade de sistema de irrigação por gotejo, comparando os valores obtidos na avaliação de um sistema de irrigação localizada tipo gotejamento instalado em uma área cultivada com a cultura da goiaba (*Psidium guajava* L.) com os valores obtidos através de equações de correlações entre coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD), coeficientes de uniformidade absoluta (CUa) e coeficientes de uniformidade estatística (Us). As diferenças percentuais encontradas entre os valores dos coeficientes de uniformidade calculados na avaliação e os valores estimados pelas equações mostram-se muito baixas, confirmando a validade das equações propostas e permitindo a estimativa da uniformidade de um dos métodos analisados a partir do valor resultante de outro método utilizado (CUD, CUa e Us).

Palavras-chave: avaliação de sistemas, irrigação localizada, coeficientes de uniformidade.

VALIDATION IN FIELD OF THE EQUATIONS OF THE COEFFICIENTS OF UNIFORMITY IN THE SYSTEM OF IRRIGATION LOCATED FOR I DRIP

ABSTRACT: This work was developed in Federal the Agrotécnica School of the Crato-CE, with the purpose to verify the validation in field of the equations of uniformity of system of irrigation for drips, comparing the values gotten in the evaluation of a system of located irrigation type dripping installed in an area cultivated with the culture of goiaba (*Psidium guajava* L.) with the values gotten through equations of correlations between coefficients of distribution uniformity (CUD), coefficients of absolute uniformity (CUa) and coefficients of

¹ Extraído da Monografia do primeiro autor

² Tecnóloga em Recursos Hídricos/Irrigação, Instituto CENTEC, Rua Amália Xavier s/n, Triângulo, CEP 63000-000, Juazeiro do Norte, CE.

³ M.Sc. em Irrigação e Drenagem, Prof. Instituto CENTEC, Juazeiro do Norte, CE.

⁴ M.Sc., Doutoranda em Irrigação e Drenagem, ESALQ, Prof. do Instituto CENTEC, Juazeiro do Norte, CE.

⁵ M.Sc. em Irrigação e Drenagem, Prof. Instituto CENTEC, Sobral, CE.

⁶ Tecnólogo em Recursos Hídricos/Irrigação, Instituto CENTEC, Sobral, CE.

⁷ Alunos do Curso de Recursos Hídricos/Irrigação, Instituto CENTEC, Juazeiro do Norte, CE.

⁸ Dr. em Engenharia Agrícola, Prof. Instituto CENTEC, Sobral, CE.

uniformity statistics (US). The found porcentuais differences between the values of the coefficients of uniformity calculated in the evaluation and the values esteem for the equations reveal very low, confirming the validity of the equations proposals and allowing the estimate of the uniformity of one of the methods analyzed from the resultant value of another used method (CUD, CUa and Us).

Key words: evaluation of systems, located irrigation, coefficients of uniformity..

INTRODUÇÃO: A irrigação localizada são sistemas com elevado grau de automação, capazes de aplicar produtos químicos dissolvidos na água de irrigação (fertirrigação). Ao mesmo tempo são exigentes de água com boa qualidade e um eficiente sistema de filtragem para reduzir a possibilidade de obstrução dos emissores. A principal dificuldade encontrada na irrigação localizada reside na facilidade que as secções mais finas dos emissores têm em se obstruírem, podendo afetar a distribuição da água para as plantas e conseqüentemente a produção. De acordo com Keller & Karmeli (1975), torna-se necessário à realização periódica de avaliações do sistema de irrigação, pois apesar das inúmeras vantagens apresentadas, existem problemas na irrigação localizada, dentre os quais destaca-se a obstrução dos emissores. Esta obstrução é causada por material orgânico em suspensão, por deposição química e por partículas minerais, características hidráulicas, topografia do terreno, pressão de operação, tamanho dos tubos, espaçamento entre emissores, variabilidade de vazão dos emissores e filtragem da água não adequada. Segundo Howell et al. (1990), os parâmetros que ditam a relação entre água e produtividade potencial da cultura são a frequência de aplicação de água, a quantidade de água aplicada, a uniformidade e a eficiência de aplicação, juntamente com a precipitação. Vermeiren & Jobling (1997) acrescenta que, para auxiliar na avaliação de um sistema no campo, torna-se preciso conhecer alguns valores, como eficiência de aplicação (E_a), coeficiente de uniformidade (CU) e eficiência de armazenamento (K_s). A uniformidade de distribuição é uma informação importante para a avaliação de sistemas de irrigação localizada, tanto na fase de projeto como no acompanhamento do desempenho após a implantação. São disponíveis diferentes métodos para avaliação dessa uniformidade, gerando, no entanto, coeficientes sem base de comparação. Devido ao crescimento da área irrigada por sistemas localizados e a importância da avaliação da sua uniformidade de distribuição, destaca-se a necessidade de correlação entre diferentes métodos aplicáveis.

MATERIAL E MÉTODOS: No estudo considerou-se uma área de 0,475 hectare para fins de avaliação de sistema de irrigação. A área apresenta sistema de irrigação por gotejamento, onde cada fileira de planta possui uma linha de polietileno de 12 mm contendo quatro emissores por plantas no espaçamento de 50 cm em faixa contínua do modelo Katif (emissor fixado na linha lateral) com vazão nominal de 4 L h⁻¹. A cultura irrigada foi um pomar de goiabeiras, plantadas em espaçamentos (5,0 x 5,0) m e com quatro gotejadores por planta. Os equipamentos usados para medir as taxas de vazões dos emissores foram: um cronômetro e uma proveta graduada de 100 ml. Para medir as pressões, foram utilizados: manômetro com unidade em kgf cm² e junções plásticas. Na avaliação foram selecionadas quatro posições na linha lateral sobre a linha de derivação, ou secundária em funcionamento, as quais se encontravam nas seguintes posições: início, a 1/3 da linha secundária; a 2/3 da linha secundária e última linha. Após selecionar as quatro linhas laterais ao longo da linha secundária, foram selecionados quatro pontos ao longo da linha lateral, nas seguintes disposições: primeiro gotejador, gotejador situado a 1/3 do comprimento, gotejador a 2/3 do comprimento e o último gotejador, segundo Keller e Karmeli (1975). As avaliações das vazões dos emissores por planta foram realizadas nos quatro emissores, com três repetições de coleta para obtenção da média, em um tempo de 3 minutos para cada coleta de volumes dos emissores. Em seguida calculou-se a vazão média dos volumes coletados e o tempo de 3 minutos, com valor da vazão em L h⁻¹. E, finalmente, coletou-se as pressões na entrada e saída das linhas laterais durante a avaliação. Através dos dados coletados em campo foram realizados os cálculos para a avaliação do sistema de irrigação, entre eles: coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de uniformidade absoluta (CUa), uniformidade de emissão do sistema (UE) e uniformidade estatística (Us). Foi realizada posteriormente uma comparação entre os valores dos coeficientes de uniformidade obtidos na avaliação com os obtidos através das equações de correlação entre os coeficientes proposta por Favetta et al. (1993). O conceito de **coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)** foi originalmente apresentado por Keller & Karmeli (1974), sendo a sua definição baseada na razão entre as vazões mínima e média dos emissores, conforme expresso pela equação 01.

$$CUD = \frac{q_n}{q_a} \times 100 \quad \text{Eq. 01}$$

onde: q_n é a média das 25% menores descargas dos emissores, em L h⁻¹; q_a é média das descargas de todos os emissores, em L h⁻¹.

Keller & Karmeli (1974) propuseram uma forma modificada da equação de CUD, denominada **uniformidade de emissão absoluta (CUa)**, que inclui as razões das vazões

máxima e mínima dos emissores com a média, sendo expressa pela equação 02.

$$CUa = \left[\frac{\frac{q_n + q_a}{q_a} - \frac{q_x}{q_a}}{2} \right] \times 100 \quad \text{Eq. 02}$$

onde: q_x é a média das 12,5% maiores vazões observadas, em $L h^{-1}$; q_n é a média das 25% menores descargas dos emissores, em $L h^{-1}$ e q_a é média das descargas de todos os emissores, em $L h^{-1}$.

Bralts (1986) apresentou os critérios relacionados na Tabela 1, para classificação dos valores de CUD e CUa.

Tabela 1: Critérios para classificação de CUD e CUa.

| CUD e CUa | classificação |
|---------------|---------------|
| 90% ou maior | excelente |
| 80% a 90% | bom |
| 70% a 80% | regular |
| menor que 70% | ruim |

A **uniformidade estatística** foi primeiramente apresentada por Wilcox & Swailes (1947) na avaliação de equipamentos de irrigação por aspersão, sendo baseada no coeficiente de variação (cv) da lâmina de água aplicada. De acordo com Bralts et al. (1987), uma abordagem estatística idêntica pode ser feita para os sistemas de irrigação localizada, bastando a substituição das lâminas de água, na conceituação original, pela vazão dos emissores. Esse conceito, aplicado à irrigação localizada, está apresentado nos trabalhos de Bralts (1986), Bralts & Kesner (1983), Bralts et al. (1981, 1982, 1987), Benami & Ofen (1984) e Favetta & Brotel (2001). O conceito de **uniformidade estatística** (U_s) é baseado no coeficiente de variação (CV) das vazões dos emissores, que por sua vez é obtido a partir das estimativas da média e do desvio padrão. Uma vez obtido o coeficiente de variação, foi calculado o valor de U_s . Essa metodologia permite a avaliação da uniformidade de distribuição tanto de sistemas implantados como também para efeito de dimensionamento, sendo expressa pela equação 03.

$$U_s = 100 \cdot (1 - cv) = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_q}{q_a} \right) \quad \text{Eq. 03}$$

onde: U_s é a uniformidade estatística; S_q é o desvio padrão da vazão do emissor; q_a é a vazão média dos emissores na subunidade, $L h^{-1}$; cv é o coeficiente de variação da vazão dos emissores em decimal.

Segundo Favetta & Brotel (2001), Os critérios utilizados para classificação de U_s são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Critérios utilizados para classificação de U_s .

| U_s | avaliação |
|--------------|-----------|
| 90% ou maior | excelente |
| 80% a 90% | muito bom |

| | |
|---------------|-------------|
| 70% a 80% | regular |
| 60% a 70% | péssimo |
| menor que 60% | inaceitável |

Favetta et al. (1993) apresentaram equações de correlação entre os CUD, Us e CUa, obtidas através do uso de dados simulados de vazão de emissores. Os resultados mostraram alta correlação entre os coeficientes, sendo apresentadas na Tabela 3 às equações obtidas.

Tabela 3: Equações de correlações entre CUD, Us e CUa citadas por Favetta et al. (1993).

| Equação | r |
|---------------------------------|---------|
| CUD = -37,79586 + Us (1,38450) | 0,99815 |
| CUD = -10,30951 + CUa (1,12276) | 0,99746 |
| CUa = 9,37365 + CUD (0,88840) | 0,99746 |
| CUa = -24,40025 + Us (1,23221) | 0,99920 |
| Us = 27,41242 + CUD (0,72094) | 0,99815 |
| Us = 19,85654 + CUa (0,81090) | 0,99920 |

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Tendo como base os valores obtidos de CUD, CUa e Us sendo igual a 68,08%, 72,08% e 76,16% respectivamente, realizou-se uma comparação de seus valores com os valores obtidos através das equações de correlação citadas na Tabela 3 segundo Favetta et al. (1993).

Tabela 3: Valores estimados por equações e valores calculados na avaliação do sistema

| Método estimado | Método | Valor estimado | Valor calculado na avaliação | Diferença | Percentagem de diferença do valor calculado |
|-----------------|--------|----------------|------------------------------|-----------|---|
| Us | CUD | 67,69 | 68,08 | -0,39 | -0,57 |
| CUa | CUD | 71,29 | | 3,21 | 4,72 |
| CUD | CUa | 69,86 | 72,08 | -2,22 | -3,08 |
| Us | CUa | 69,48 | | -2,60 | -3,61 |
| CUD | Us | 76,50 | 76,16 | 0,34 | 0,45 |
| CUa | Us | 78,79 | | 2,63 | 3,45 |

Os valores estimados pelas equações propostas e os obtidos pela aplicação convencional de cada método na avaliação do sistema são apresentados na Tabela 3, tendo as diferenças entre eles oscilado de -2,60 a 3,21, ou seja, houve uma variância de -3,61 a 4,72% dos valores calculados. Concordando com Favetta e Botrel (2001) para a aplicação dos valores de uniformidade como referência do que está ocorrendo com os sistemas de irrigação localizada ao longo de seu uso, as diferenças percentuais encontradas mostram-se muito baixas, confirmando a validade das equações propostas, e viabilizando a comparação entre resultados de uniformidade dos três diferentes métodos, através da estimativa desses coeficientes de uniformidade a partir de um dos mesmos previamente conhecidos.

CONCLUSÕES: Através da comparação entre os valores encontrados com a avaliação em

campo e os valores calculados através das equações de correlação entre os coeficientes de uniformidade comprovou-se a validação das mesmas. O uso das equações de estimativa dos coeficientes analisados mostra-se bastante interessante na avaliação pós-implantação de sistemas de irrigação, devido a escolha dos pontos de coleta para as medições de vazão serem totalmente distintas entre os conceitos de uniformidade de emissão e de uniformidade estatística, identificando diferentes coeficientes de uniformidade (coeficientes de uniformidade de distribuição, coeficiente de uniformidade absoluta e uniformidade estatística) a partir de um único método conhecido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENAMI, A.; OFEN, A. **Irrigation engineering**. Haifa: Irrigation Engineering Scientific Publications, 1984. 257p.
- BRALTS, V.F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- BRALTS, V.F.; EDWARD, D.M.; WU, I.P. Drip irrigation design and evaluation based on statistical uniformity concept. In: HILLEL, D. (Ed.) **Advances in irrigation**. Orlando: Academic Press, 1987. v.4, p.67-117.
- BRALTS, V.F.; KESNER, C.D. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transactions of the ASAE**, v.26, p.1369-1374, 1983.
- BRALTS, V.F.; WU, I.P.; GITLIN, H.M. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. **Transactions of the ASAE**, v.24, p.1234-1240, 1981.
- BRALTS, V.F.; WU, I.P.; GITLIN, H.M. Emitter plugging and drip irrigation lateral line hydraulics. **Transactions of the ASAE**, v.25, p.1274-1281, 1982.
- FAVETTA, G.M.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Correlação entre três métodos de estimativa da uniformidade de distribuição em irrigação localizada. **Engenharia Rural**, v.4, p.117-134, 1993.
- FAVETTA, G.M. & BOTREL, T.A. Uniformidade de Sistemas de Irrigação Localizada: Validação de Equações. **Scientific Agricultural**, vol.58, n.2, Piracicaba, Apr./June 2001.
- HOWELL, T.A.; CUENCA, R.H.; SOLOMON, K.H. Crop Yield response. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (Org.) **Management at farm irrigation systems**. St. Joseph: The American Society of Agricultural Engineers, 1990. p.93-122.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v.17, n.4, p.678-684, July/Aug., 1974.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design. S.1: **Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation**, 1975. 133p.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. Tradução de GHEY, H.R.; DAMASCENO, F.A.V.; SILVA JÚNIOR, L.G.A.; MEDEIROS, J.F. de. Campina Grande. UFPB. 1997. XX, 184p.:il., 30 cm (**Estudos FAO: Irrigação e Drenagem**, 36).
- WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. **Scientific Agricultural**, v.27, p.565-583, 1947.