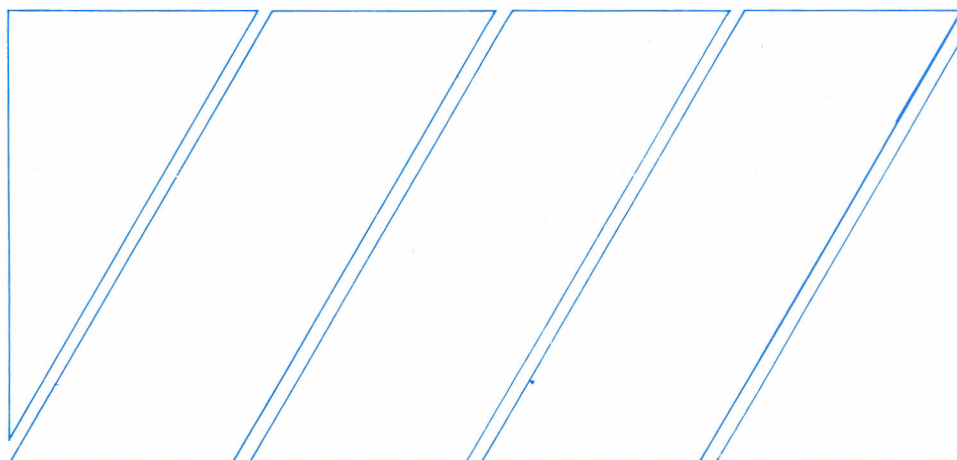


Análise de Coeficientes de Uniformidade de Distribuição de Água em Sistema de Irrigação Localizada



**ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE
DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA
DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

José Maria Pinto
José Monteiro Soares
Tarcízio Nascimento



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura e Reforma Agrária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico
Semi-Árido-CPATSA
Petrolina, PE

© EMBRAPA, 1991
EMBRAPA-CPATSA

Exemplares desta publicação podem ser solicitados ao:
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido-CPATSA
BR 428 km 152
Telefone: (081) 961-4411
Telex: 810016
Caixa Postal 23
56300 Petrolina, PE

Tiragem: 500 exemplares

Chefe: Luiz Maurício Cavalcante Salviano
Chefe Adjunto Técnico: Aderaldo de Souza Silva
Chefe Adjunto de Apoio: Paulo Roberto Coelho Lopes

Comitê de Publicações:

Eduardo Assis Menezes (Presidente)
Aldroville Ferreira Lima
Eliane Nogueira Choudhury
Jorge Ribaski
José Barbosa dos Anjos
José Givaldo Góes Soares

Assessoria científica deste trabalho:

Arnóbio Anselmo de Magalhães
Marco Almiro Resende Monteiro

PINTO, J.M.; SOARES, J.M.; NASCIMENTO, T. **Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada.** Petrolina, PE : EMBRAPA-CPATSA, 1991. 25 p. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 41).

1. Irrigação Localizada - Água - Distribuição - Análise. 2. Irrigação - Gotejamento - Água - Distribuição - Análise. I. Soares, J.M., colab. II. Nascimento, T., colab. III. EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Petrolina, PE). IV. Título. V. Série.

CDD 631.7

APRESENTAÇÃO

A ampliação da área irrigada por gotejamento e microaspersão no Submédio São Francisco tem causado aumento na procura de informações técnicas sobre irrigação localizada, que permite irrigar maior área, com menor vazão e poucas limitações topográficas.

O Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA)-EMBRAPA tem dedicado esforços no sentido de gerar informações técnicas sobre irrigação localizada, que sejam compatíveis com o nível econômico e gerencial do agricultor do Vale do São Francisco, tornando possível ao usuário usufruir das vantagens inerentes ao método de irrigação localizada.

Considerando que, na irrigação localizada, a eficiência de irrigação é alta, a avaliação do sistema de irrigação é um fator fundamental ao manejo de irrigação. O CPATSA desenvolveu esta pesquisa para definir o melhor método de avaliação para cada tipo de irrigação localizada, visando contribuir para a melhor utilização de cada sistema.

LUIZ MAURÍCIO CAVALCANTE SALVIANO
Chefe do Centro de Pesquisa Agropecuária
do Trópico Semi-Árido

SUMÁRIO

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMO | 7 |
| ABSTRACT | 9 |
| INTRODUÇÃO | 11 |
| MATERIAIS E MÉTODOS | 12 |
| 1. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE Christiansen | 13 |
| 2. MÉTODO DE Pattern-Eficiencia | 14 |
| 3. MÉTODO PROPOSTO POR Merrian, Keller & Alfaro | 15 |
| 4. NOVO MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE | 15 |
| 5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE PROPOSTO POR Abreu & Lopes | 16 |
| 6. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE ABSOLUTA DE Abreu & Lopes | 16 |
| 7. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE Keller & Karmeli | 17 |
| 8. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE ABSOLUTA DE Keller & Karmeli | 18 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 18 |
| CONCLUSÕES | 23 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 23 |

ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

José Maria Pinto¹

José Monteiro Soares²

Tarcízio Nascimento³

RESUMO - Na Estação Experimental de Bebedouro, pertencente ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA)-EMBRAPA, Petrolina, PE, foram conduzidos estudos sobre uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, nos sistemas de irrigação localizada por gotejamento, por microaspersão e por xique-xique. Nos cálculos dos coeficientes de uniformidade, foram utilizados os seguintes métodos: Método de Christiansen; Método de Pattern-Efficiency; Método de Keller e Karmeli; Método proposto por Merriam, Keller e Alfaro; Método denominado Novo Coeficiente e Método proposto por Lopes e Abreu. Constatou-se que a metodologia denominada Novo Coeficiente pode ser utilizada em substituição à metodologia de referência de Christiansen para os sistemas de irrigação por gotejamento e por xique-xique, enquanto na irrigação por microaspersão, deve-se utilizar a metodologia de Merriam, Keller e Alfaro. As equações de regressão determinadas foram: para gotejamento, $CUC = -157,351 + 5,069PE - 0,025PE^2$; $CUC = 1621,777 - 33,007NC - 0,178NC^2$; para microaspersão, $CUC = -588,230 + 15,218PE - 0,085PE^2$; $CUC = 71,565 + 0,307CUMKA - 0,001CUMKA^2$; para xique-xique, $CUC = 67,478 - 0,258PE + 0,006PE^2$, $CUC = 83,006 - 0,452 CUMKA + 0,006CUMKA^2$; $CUC = 182,838 - 3,453NC + 0,028NC^2$.

Termos para indexação: Irrigação, irrigação localizada, gotejamento, microaspersão, coeficiente de uniformidade.

¹Engº Agrícola, M.Sc., Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, 56300 Petrolina, PE.

²Engº Agrônomo, M.Sc., Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-CPATSA.

³Engº Agrônomo, Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-CPATSA.

ANALYSIS OF WATER DISTRIBUTION UNIFORMNESS IN THREE SYSTEMS OF LOCALIZED IRRIGATION

José Maria Pinto¹

José Monteiro Soares²

Tarcízio Nascimento³

ABSTRACT - Water distribution uniformness was studied in three irrigation systems (water dripping, microsprinkling and a perforated pipe system called "xique-xique") in the Agricultural Research Center for the Semi-Arid Tropic, Bebedouro Experimental Field, located in Petrolina, Pernambuco State, Brazil. The uniformness of irrigation was determined by the following methods: Christiansen; Pattern-Efficiency; Keller & Karmeli; Merriam, Keller & Alfaro; New Coefficient, and Lopes & Abreu. The New Coefficient method can substitute the Christiansen method in the water dripping and "xique-xique" irrigation systems while the Merriam, Keller & Alfaro method can substitute it in the microsprinkling system. The regression equation for water dripping was; $CUC = - 157,351 + 5,069PE - 0,025PE^2$; $CUC = 1621,777 - 33,007NC - 0,178NC^2$; for microsprinkling, $CUC = - 588,230 + 15,218PE - 0,085PE^2$; $CUC = 71,565 + 0,307CUMKA - 0,001CUMKA^2$ and for "xique-xique", $CUC = 67,478 - 0,258PE + 0,006PE^2$; $CUC = 83,006 - 0,452CUMKA + 0,006CUMKA^2$ and $CUC = 182,838 - 3,453NC + 0,028NC^2$.

Index terms: irrigation, localized irrigation, dripping, microsprinkling, uniformity coefficient.

¹Engº Agrícola, M.Sc., Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, 56300 Petrolina, PE.

²Engº Agrônomo, M.Sc., Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-CPATSA.

³Engº Agrônomo, Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-CPATSA.

ANÁLISE DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

José Maria Pinto¹

José Monteiro Soares²

Tarcízio Nascimento³

INTRODUÇÃO

A agricultura atual requer diferentes técnicas para permitir maiores produções, garantindo bom rendimento por unidade de área. A irrigação contribui decisivamente no sentido de se obter melhor rendimento agrícola, tanto por permitir a implantação de uma agricultura racional em zonas de clima árido ou semi-árido, quanto por propiciar um melhor desenvolvimento das culturas em outras regiões.

O método de irrigação localizada caracteriza-se, basicamente, pela aplicação da água numa fração do volume do solo explorada pelas raízes da planta, de forma pontual ou em faixa contínua, geralmente, com distribuição pressurizada através de pequenas vazões e curtos intervalos de rega, mantendo níveis de umidade ideais para a cultura (Bernardo, 1982).

A água é levada da fonte até as plantas por meio de tubos, eliminando totalmente as perdas por condução e minimizando as perdas por percolação, uma vez que se aplica a água somente em parte da área e sob a copa das plantas (Keller & Karmeli, 1974). Faz-se a aplicação por meio de dispositivos especiais, denominados emissores, que são peças conectadas às linhas laterais capazes de dissipar a pressão disponível na linha lateral e aplicar vazões pequenas e constantes (Olitta, 1977).

¹Engº Agrícola, M.Sc., Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, 56300 Petrolina, PE.

²Engº Agrônomo, M.Sc., Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-CPATSA.

³Engº Agrônomo, Pesquisador em Irrigação, EMBRAPA-CPATSA.

No sistema de irrigação localizada, a uniformidade de aplicação de água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada com a variação de vazão dos emissores, variação esta devida às perdas de energia da água por atrito ao longo do tubo e nas inserções dos emissores, ganhos e perdas de energia de posição, qualidade da matéria-prima e dos processos de fabricação, obstruções e efeitos da temperatura da água sobre o regime de escoamento e geometria do emissor (Howell & Hiller, 1974). Todavia, estudos feitos em laboratórios levaram à conclusão de que temperaturas entre 25 e 32^o C não tiveram influência na vazão do gotejador (Oliveira, 1978).

Em virtude da potencialidade deste método, aliada ao desenvolvimento de pesquisas com culturas irrigadas com sistema de irrigação localizada, tem sido crescente a sua demanda, principalmente para fruteiras. Entretanto, ainda não se desenvolveu nenhum estudo para indicar técnicas e critérios para determinar a uniformidade de distribuição de água da irrigação localizada. Estudou-se a relação entre as vazões mínima e média dentro de um sistema de irrigação, definindo-a como uniformidade de distribuição e entre vazões máxima e mínima, denominada de uniformidade de distribuição absoluta (Keller & Karmeli, 1974).

Todavia, após a implantação de sistema de irrigação localizada, deve-se proceder a uma avaliação, para verificar a uniformidade de distribuição de água e a eficiência de irrigação, procurando-se, assim, corrigir falhas por ventura existentes, melhorando estes sistemas e adquirindo subsídios para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos sistemas de irrigação localizada.

Diante disto, foi desenvolvido este trabalho com o objetivo de comparar oito métodos para cálculo do coeficiente de uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação localizada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na Estação Experimental de Bebedouro, pertencente ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Petrolina, PE, foram conduzidos estudos sobre uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, nos sistemas de irrigação por gotejamento, por microaspersão e por xique-xique.

Foram comparados oito métodos utilizados na determinação do coeficiente de uniformidade de distribuição:

1. Método de Christiansen;
2. Método de Pattern-Efficiency;
3. Método de Merriam, Keller e Alfaro;
4. Método denominado Novo Coeficiente;
5. Método proposto por Lopes e Abreu relativo;
6. Método proposto por Lopes e Abreu absoluto;
7. Método de Keller e Karmeli relativo;
8. Método de Keller e Karmeli absoluto.

A tomada de dados para cada método foi realizada três vezes, utilizando três distintos sistemas de irrigação localizada.

Cada sistema de irrigação localizada foi constituído por seis linhas laterais, cada uma com 48,0 m de comprimento e espaçadas de 3,0 m.

No sistema de irrigação por gotejamento, os emissores foram espaçados de 1,0 m e nos sistemas por microaspersão e xique-xique, os emissores foram espaçados de 3,0 m. A pressão de serviço utilizada foi de 10 mca para gotejamento, 15 mca para microaspersão e 4,5 mca para xique-xique.

Para a realização de cada teste de campo, utilizaram-se recipientes de plástico com 1,0 litro de capacidade, cronômetro e proveta graduada de 10 em 10 ml.

1. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE Christiansen:

Para determinar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação localizada, tem que se medir a vazão de todos os emissores ao longo da linha lateral e de todas as linhas laterais do sistema de irrigação e a pressão de funcionamento no início das linhas de derivação ou no cabeçal controle, necessitando, para isso, de proveta, cronômetro e manômetro.

Conhecendo-se as vazões dos gotejadores, pode-se calcular a uniformidade de distribuição do sistema, por meio de várias equações. O uso da equação de Christiansen permite a obtenção de resultados bastante confiáveis.

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

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

X_i = volume obtido no coletor de ordem i , em ml;

\bar{X} = média dos volumes obtidos nos coletores, em ml;

n = número de coletores.

2. MÉTODO DE Pattern-Eficiencia

É um método que simplifica a equação da Christiansen, após a coleta dos dados. Escolhe-se os 25% dos menores valores coletados. O coeficiente de uniformidade é calculado pela expressão:

$$PE = \frac{100 \bar{x}}{\bar{X}}$$

em que:

PE = coeficiente de uniformidade de Pattern-Eficiencia, em %;

x = média dos 25% do total de valores coletados, com os menores valores em ml;

\bar{X} = média de todos os valores coletados, em ml.

3. MÉTODO PROPOSTO POR Merrian, Keller & Alfaro:

É um método que simplifica a equação de Pattern-Efficiency (Keller & Karmeli, 1974). A coleta de dados de cada lateral é feita em apenas quatro emissores distintos, ou seja, primeiro emissor, emissor situado a 1/3 do comprimento da lateral, emissor situado a 2/3 do comprimento da lateral e o último emissor da linha lateral, assim como a 1ª linha lateral, a linha lateral situada a 1/3 e 2/3 e última linha lateral de cada unidade de rega.

O coeficiente de uniformidade é calculado pela expressão:

$$CUMKA = \frac{100 \text{ qm}}{\bar{Q}}$$

em que:

CUMKA = coeficiente de uniformidade de Merrian, Keller e Alfaro, em %;

qm = menor valor de vazão, em litros/h;

\bar{Q} = média das vazões, em litros/h.

4. NOVO MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE:

Esse método também é uma simplificação do método de Pattern-Efficiency, proposto por Deniculi e outros (1980). A coleta de dados de cada lateral é feita nos seguintes emissores: primeiro emissor, emissores situados a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do comprimento da linha lateral e o último emissor da linha, assim como a 1ª linha lateral e as linhas laterais situadas a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 e última linha lateral da unidade de rega. O coeficiente de uniformidade é calculado pela seguinte equação:

$$NC = \frac{100 \bar{q}}{\bar{Q}}$$

em que:

NC = coeficiente de uniformidade, em %;

\bar{q} = média das duas menores vazões, em litros/h;

\bar{Q} = média das vazões, em litros/h.

5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE PROPOSTO POR Abreu & Lopes:

É um método semelhante ao proposto por Merriam, Keller e Alfaro, porém a coleta de dados de cada lateral é feita em quatro plantas distintas, considerando o número de emissor por planta: primeira planta, planta situada a 1/3 e 2/3 do comprimento da linha lateral e última planta da linha lateral. Foi feito tanto para a linha lateral como para todo o sistema. Para todo o sistema, coletaram-se dados na 1ª linha lateral, nas linhas laterais situadas a 1/3 e 2/3 da linha de distribuição e última lateral.

O coeficiente de uniformidade é calculado pela seguinte equação:

$$CU = \frac{100 \bar{q}_{\min}}{\bar{Q}}$$

em que:

CU = coeficiente de uniformidade, em %;

\bar{q}_{\min} = vazão média dos 25% do total de valores coletados, com os menores valores, em litros/h;

\bar{Q} = média das vazões coletadas, em litros/h.

6. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE ABSOLUTA DE Abreu & Lopes:

O coeficiente de uniformidade absoluta é calculado pela seguinte equação:

$$CUA = \frac{100}{2} \left(\frac{\bar{q}_{\min}}{\bar{Q}} + \frac{\bar{Q}}{q_{\max}} \right)$$

em que:

CUA = coeficiente de uniformidade de aplicação, em %;

\bar{q}_{\max} = média dos 12,5% maiores valores de vazões coletadas, em litros/h;

\bar{q}_{\min} = vazão média dos 25% do total de valores coletados, com os menores valores, em litros/h;

\bar{Q} = média das vazões coletadas, em litros/h.

7. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE Keller & Karmeli:

A coleta de dados é feita em todos os emissores do sistema de irrigação, como no método de Christiansen.

O coeficiente de uniformidade é calculado pela seguinte expressão:

$$CUKK = 100 \left(1 - \frac{1,27 \text{ CVF}}{\sqrt{e}} \right) \frac{q_{\min}}{\bar{Q}}$$

em que:

CUKK = coeficiente de uniformidade, em %;

CVF = coeficiente de variação de fabricação do emissor, em decimal;

e = número de emissores por planta;

q_{\min} = menor vazão coletada, em litros/h;

\bar{Q} = média das vazões coletadas, em litros/h.

8. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE ABSOLUTA DE Keller & Karmeli:

O coeficiente de uniformidade absoluta é calculado pela seguinte equação:

$$CUKKA = 100 \left(1 - \frac{1,27 \text{ CVF}}{\sqrt{e}} \right) \frac{1}{2} \left(\frac{q_{\min}}{\bar{Q}} + \frac{\bar{Q}}{q_{\max}} \right)$$

em que:

CUKKA = coeficiente de uniformidade absoluta, em %;

CVF = coeficiente de variação de fabricação do emissor, em decimal;

q_{\min} = menor vazão coletada, em litros/h;

\bar{Q} = média das vazões coletadas, em litros/h;

q_{\max} = maior vazão coletada, litros/h.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do coeficiente de uniformidade para as oito metodologias testadas para sistemas de irrigação localizada por gotejamento, microaspersão e xique-xique encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente. Pode-se verificar que os coeficientes de uniformidade obtidos através da metodologia recomendada por Abreu e Lopes (1977), foram os que mais se aproximaram dos valores alcançados pela metodologia de referência desenvolvida por Christiansen (1942), para os sistemas de irrigação localizada por gotejamento e por microaspersão, enquanto que para o sistema de irrigação xique-xique, nenhuma das metodologias obteve valores de coeficiente de uniformidade de distribuição de água próximos ao valor encontrado pelo método de Christiansen. Por outro lado, as

metodologias recomendadas por Keller e Karmeli (1974) foram as que apresentaram os valores mais baixos para os coeficientes de uniformidade. Isto se deve ao cálculo dos coeficientes, com base no valor extremo de vazão mínima (Coef. Keller & Karmeli) e nos valores extremos de vazão máxima e vazão mínima (Coef. Keller & Karmeli absoluto).

TABELA 1. Coeficientes de uniformidade determinados por oito métodos para o sistema de irrigação por gotejamento.

| Nº da linha | Coeficiente de Uniformidade (%) | | | | | | | |
|----------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Lateral | CUC | PE | CU | CUA | NC | CKK | CKKA |
| 1 | 93,39 | 93,75 | 91,77 | 90,79 | 95,88 | 84,92 | 73,16 | 95,33 |
| 2 | 96,08 | 92,79 | 91,04 | 93,04 | 97,44 | 84,92 | 86,49 | 96,32 |
| 3 | 97,49 | 95,94 | 94,09 | 94,64 | 96,07 | 84,92 | 86,49 | 96,35 |
| 4 | 95,64 | 96,67 | 92,17 | 90,97 | 96,93 | 88,59 | 83,98 | 94,88 |
| 5 | 93,42 | 87,40 | 86,19 | 89,67 | 90,79 | 84,92 | 83,57 | 92,25 |
| 6 | 91,80 | 88,18 | 94,26 | 94,29 | 94,60 | 84,92 | 72,25 | 95,81 |
| Todo o Sistema | 94,90 | 90,87 | 95,02 | 93,27 | 96,60 | 84,65 | 72,17 | 92,70 |

TABELA 2. Coeficientes de uniformidade determinados por oito métodos para o sistema de irrigação por microaspersão.

| Nº da linha | Coeficiente de Uniformidade (%) | | | | | | | |
|----------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Lateral | CUC | PE | CU | CUA | NC | CKK | CKKA |
| 1 | 91,17 | 87,96 | 94,83 | 94,10 | 93,51 | 81,85 | 80,11 | 92,17 |
| 2 | 92,89 | 86,93 | 93,83 | 92,64 | 90,13 | 81,85 | 80,37 | 94,43 |
| 3 | 92,13 | 86,63 | 95,45 | 95,78 | 92,39 | 81,35 | 82,71 | 87,25 |
| 4 | 92,62 | 90,95 | 92,87 | 92,38 | 94,78 | 81,25 | 82,88 | 92,82 |
| 5 | 91,97 | 86,11 | 86,89 | 90,86 | 83,04 | 81,85 | 79,85 | 87,74 |
| 6 | 90,65 | 84,95 | 84,96 | 84,45 | 79,86 | 81,85 | 79,49 | 85,24 |
| Todo o Sistema | 89,67 | 83,73 | 88,61 | 88,64 | 74,74 | 81,85 | 79,56 | 75,67 |

TABELA 3. Coeficientes de uniformidade determinados por oito métodos para o sistema de irrigação por xique-xique.

| Nº da linha | Coeficiente de Uniformidade (%) | | | | | | | |
|----------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Lateral | CUC | PE | CU | CUA | NC | CKK | CKKA |
| 1 | 77,46 | 68,48 | 71,27 | 69,62 | 69,77 | 69,95 | 55,15 | 48,85 |
| 2 | 83,94 | 76,70 | 78,82 | 77,08 | 77,26 | 76,08 | 47,45 | 45,87 |
| 3 | 88,67 | 81,70 | 77,70 | 80,40 | 77,96 | 90,98 | 40,62 | 47,88 |
| 4 | 85,37 | 74,27 | 85,20 | 85,06 | 79,30 | 82,30 | 43,04 | 47,00 |
| 5 | 85,98 | 80,30 | 81,95 | 83,08 | 81,07 | 82,91 | 49,92 | 51,78 |
| 6 | 80,62 | 71,90 | 68,56 | 65,49 | 74,41 | 78,62 | 55,15 | 46,30 |
| Todo o Sistema | 77,61 | 64,54 | 66,94 | 64,55 | 63,69 | 61,82 | 55,06 | 46,82 |

Quando os coeficientes são calculados considerando-se uma linha lateral única, pode-se observar que os valores diferem bastante dos valores obtidos quando se considera a unidade de rega como um todo.

Verifica-se, também, que as fórmulas de coeficientes de uniformidade que contemplam o coeficiente de variação de fabricação (CVF) não apresentam bons resultados, principalmente quando os valores de CVF são elevados. Deve-se salientar, também, que os fabricantes, normalmente, não fornecem dados sobre o CVF de seus produtos. A determinação deste parâmetro exige precisão, o que dificulta ainda mais a utilização desta metodologia.

Como o rendimento da cultura pode ser determinado pelo efeito da uniformidade de distribuição da água, por meio de uma função polinomial (Howell, 1964), que expressa o rendimento em função da uniformidade, as equações que subestimam os valores do coeficiente de uniformidade podem levar à ocorrência de erros.

As Tabelas 4, 5 e 6 mostram a associação existente entre as oito metodologias estudadas para os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e xique-xique, respectivamente.

TABELA 4. Matriz de correlação simples entre os coeficientes de uniformidade determinados por oito métodos para a irrigação por gotejamento.

| | CUC | PE | CU | CUA | NC | CUMKA | CKK | CKKA |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| CUC | 1,0000 | 0,8108 | 0,1856 | 0,2103 | 0,5729 | 0,3338 | 0,1912 | 0,6498 |
| PE | | 1,0000 | 0,3484 | 0,1022 | 0,7198 | 0,5196 | 0,5484 | 0,4001 |
| CU | | | 1,0000 | 0,7912 | 0,6984 | 0,4135 | -0,0180 | -0,4280 |
| CUA | | | | 1,0000 | 0,4628 | 0,5458 | -0,3359 | 0,0908 |
| CUMKA | | | | | 1,0000 | 0,5696 | 0,2649 | 0,0064 |
| NC | | | | | | 1,0000 | 0,0592 | 0,2347 |
| CKK | | | | | | | 1,0000 | 0,2953 |
| CKKA | | | | | | | | 1,0000 |

TABELA 5. Matriz de correlação simples entre os coeficientes de uniformidade determinados por oito métodos para a irrigação por microaspersão.

| | CUC | PE | CU | CUA | NC | CUMKA | CKK | CKKA |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| CUC | 1,0000 | 0,7060 | 0,5233 | 0,5958 | 0,2695 | 0,8517 | -0,4794 | 0,5060 |
| PE | | 1,0000 | 0,5731 | 0,5426 | 0,8422 | 0,7837 | -0,6581 | 0,7975 |
| CU | | | 1,0000 | 0,9102 | 0,8732 | 0,5461 | -0,4837 | 0,8136 |
| CUA | | | | 1,0000 | 0,8944 | 0,5151 | -0,4800 | 0,7792 |
| CUMKA | | | | | 1,0000 | 0,7959 | -0,5759 | 0,8726 |
| NC | | | | | | 1,0000 | -0,2550 | 0,8051 |
| CKK | | | | | | | 1,0000 | 0,5308 |
| CKKA | | | | | | | | 1,0000 |

TABELA 6. Matriz de correlação simples entre os coeficientes de uniformidade determinados por oito métodos para a irrigação por xique-xique.

| | CUC | PE | CU | CUA | NC | CUMKA | CKK | CKKA |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| CUC | 1,0000 | 0,9441 | 0,7969 | 0,8610 | 0,8689 | 0,9174 | -0,8962 | 0,2214 |
| PE | | 1,0000 | 0,7267 | 0,7929 | 0,9024 | 0,9149 | -0,7491 | 0,3574 |
| CU | | | 1,0000 | 0,9826 | 0,8552 | 0,6687 | -0,7798 | 0,3089 |
| CUA | | | | 1,0000 | 0,8543 | 0,7394 | -0,8393 | 0,3842 |
| CUMKA | | | | | 1,0000 | 0,8799 | -0,6841 | 0,3106 |
| NC | | | | | | 1,0000 | -0,7810 | 0,2369 |
| CKK | | | | | | | 1,0000 | 0,0285 |
| CKKA | | | | | | | | 1,0000 |

As melhores associações para o método de irrigação por gotejamento foram obtidas entre os métodos de Christiansen e Pattern-Efficiency e métodos de Christiansen e o Novo Coeficiente. Diante da boa associação encontrada entre CUC e PE e entre CUC e NC, foi possível estabelecer equações de regressão que relacionassem um método com o outro, tomando-se CUC como padrão. As equações de regressão estimadas foram:

$$\text{CUC} = -157,351 + 5,069 \text{ PE} - 0,025 \text{ PE}^2$$

$$\text{CUC} = 1621,777 - 33,00 \text{ NC} - 0,178 \text{ NC}^2$$

As melhores associações, para a irrigação por microaspersão, foram obtidas entre os métodos de Christiansen e Pattern-Efficiency e entre os métodos de Christiansen e o método proposto por Merriam, Keller e Alfaro. Estabeleceram-se equações de regressão entre CUC e PE e entre CUC e CUMKA, tomando-se CUC como padrão. As equações de regressão estimadas foram:

$$\text{CUC} = -558,230 + 15,218 \text{ PE} - 0,085 \text{ PE}^2$$

$$\text{CUC} = 71,565 + 0,307 \text{ CUMKA} - 0,001 \text{ CUMKA}^2$$

As melhores associações, para o sistema de irrigação xique-xique, foram obtidas entre os métodos de Christiansen e Pattern-Efficiency, entre os métodos de Christiansen e o método denominado Novo Coeficiente e entre os métodos de Christiansen e o método Merriam, Keller e Alfaro. Estabeleceram-se equações de regressão entre CUC e PE, entre CUC e CUMKA e entre CUC e NC, tomando-se CUC como padrão. As equações de regressão estimadas foram:

$$\text{CUC} = 67,478 - 0,258 \text{ PE} + 0,006 \text{ PE}^2$$

$$\text{CUC} = 83,006 - 0,452 \text{ CUMKA} + 0,006 \text{ CUMKA}^2$$

$$\text{CUC} = 182,832 - 3,453 \text{ NC} + 0,028 \text{ NC}^2$$

Apesar da metodologia de Pattern-Efficiency ter apresentado correlação mais alta quando comparada com a metodologia de Christiansen, sugere-se o uso da metodologia denominada Novo Coeficiente para irrigação por gotejamento, enquanto que para o sistema de irrigação por microaspersão, sugere-se o uso da metodologia desenvolvida por Merriam, Keller e Alfaro, em decorrência das vantagens oferecidas para o teste de campo.

Entretanto, para o sistema de irrigação xique-xique, que está sujeito a um maior coeficiente de variação de fabricação e a problemas de entupimento, devido às condições normais de manejo, recomenda-se o emprego de pontos de amostragem, o que pode reduzir a possibilidade de erro.

CONCLUSÕES

Constatou-se que as metodologias que apresentaram melhores correlações com a metodologia de referência de Christiansen para determinação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água para sistemas de irrigação localizada, foram as seguintes, com respectivas equações de regressão:

Irrigação por gotejamento:

- Pattern-Efficiency: $CUC = -157,351 + 5,069 PE - 0,025 PE^2$
- Novo Coeficiente: $CUC = 1621,777 - 33,007 NC - 0,178 NC^2$

Irrigação por Microaspersão:

- Pattern-Efficiency: $CUC = -558,230 + 15,218 PE - 0,085 PE^2$
- Merriam, Keller e Alfaro: $CUC = 71,565 + 0,307 CUMKA - 0,001 CUMKA^2$

Irrigação por Xique-Xique

- Pattern-Efficiency: $CUC = 67,478 - 0,258 PE + 0,006 PE^2$
- Merriam, Keller e Alfaro: $CUC = 83,006 - 0,452 CUMKA + 0,006 CUMKA^2$
- Novo Coeficiente: $CUC = 182,838 - 3,453 NC + 0,028 NC^2$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J.M.H.; LOPES, J.R. **El riego por goteo**. Madrid : Ministério de Agricultura, 1977. 32p. (Espanha. Ministério de Agricultura. Hojas Divulgadoras, 11-12/77).

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. Viçosa : UFV, 1982. 463p.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley : University of California, 1942. 123p.il. (University of California. Bulletin, 670).

- DENICULI, W.; BERNARDO, S.; THIEBAUT, J.T.; SEDIYAMA, G.C.
Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.28, n.150, p.155-162, 1980.
- HOWELL, D.T. Sprinkler nonuniformity characteristics and yield. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.90, n.3, p.55-67, Sep. 1964.
- HOWELL; T.A.; HILLER, E.A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. In : INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2., 1974, San Diego. **Proceedings**. Riverside : Department of Soil Science and Agricultural Engineering, 1974. p.299-304.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transaction of the ASAE**, v.17, n. 4, p. 678-684, 1974.
- OLITTA, A.F.L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo : Nobel, 1977. 267p.
- OLIVEIRA, C.A. da S. **Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais para irrigação por gotejamento**. Viçosa : UFV, 1978. 72p. Tese Mestrado.

Revisão Editorial: Eduardo Assis Menezes
Composição: Nivaldo Torres dos Santos/Letícia de Possídio Estrela Lustosa
Arte-final: Nivaldo Torres dos Santos
Normatização bibliográfica: SID/CPATSA