

DENSIDADE DE COLETA DE DADOS E SUA INFLUÊNCIA NA CARACTERIZAÇÃO DA UNIFORMIDADE EM PIVÔ CENTRAL LEPA

**Everardo Chartuni Mantovani¹; Marconi Batista Teixeira²; Márcio Mota Ramos¹;
Rubens Alves de Oliveira¹; Darik Oliveira Souza¹**

¹*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, everardo@ufv.br*

²*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP*

1 RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de propor uma metodologia para avaliação de um sistema de irrigação por pivô central equipado com emissores do tipo LEPA. Um dispositivo para medição da vazão do emissor LEPA foi desenvolvido para operar em condições de campo. As medições de vazão foram feitas em todos os bocais, com os pivôs posicionados em aclave e em declive. Em seguida, determinou-se a porcentagem de emissores (100, 50, 33 ou 25%) a ser avaliados para otimizar o tempo de coleta, sem comprometer os coeficientes de uniformidade. Os testes para o desenvolvimento do dispositivo e das metodologias propostas para avaliação de pivô central equipado com emissor tipo LEPA foram realizados na Área de Observação e Pesquisa em Cafeicultura Irrigada (PNP&D-Café/DEA-UFV/VALMONT), localizada no município de Paula Cândido, Minas Gerais. Com o intuito de comprovar a praticidade do dispositivo desenvolvido e as metodologias propostas, foram avaliados seis sistemas de irrigação localizados nos municípios de Patrocínio, Estrela do Sul e Uberlândia, na região do Triângulo Mineiro. De acordo com os resultados, não houve necessidade de medir a vazão de todos os emissores para avaliação dos coeficientes de uniformidade de Christiansen e de distribuição, podendo-se avaliar somente 50% dos emissores, pois esta metodologia não diferiu significativamente daquela usada para avaliar todos os emissores.

UNITERMOS: coeficientes de uniformidade, café, emissores

**MANTOVANI, E. C.; TEIXEIRA, M. B.; RAMOS, M. M.; OLIVEIRA, R.A. de;
SOUZA, D. O. EVALUATION METHODOLOGY FOR CENTRAL PIVOT
IRRIGATION EQUIPPED WITH LEPA**

2 ABSTRACT

A study was carried out to propose an evaluation methodology for a central pivot irrigation system equipped with LEPA-type emitters. A device to measure the flow rate of the LEPA emitter was developed to operate under field conditions. The measurements of the flow rate were performed in all nozzles of central pivots positioned at acclivity and slope. Then, the percentage of the evaluated emitters (100, 50, 33 and 25%) was determined in order to optimize the collection time without influencing the uniformity coefficients. The tests for the development of the device and the proposed evaluation methodologies for central pivot irrigation system equipped with the LEPA-type emitter

were carried out at the Irrigated Coffee Growth, Research and Observation Area (PNP&D-Café/DEA-UFV/VALMONT), located in Paula Cândido county, Minas Gerais State, Brazil. To verify the feasibility of the developed device and the proposed methodologies, six irrigation systems located in Patrocínio, Estrela do Sul, and Uberlândia counties, in Triângulo Mineiro region were evaluated. According to the results, there is no need to measure the flow rate from all emitters to evaluate the Christiansen uniformity coefficients and the distribution coefficients, and just the evaluation of 50% emitters is enough since this methodology did not significantly differ from the methodology used to evaluate all emitters.

KEYWORDS: coefficient uniformity, coffee, nozzles

3 INTRODUÇÃO

Em razão da crescente necessidade de racionalização do uso dos recursos hídricos, da competitividade pelo uso da água, dos custos de energia e insumos e da estabilização dos preços dos produtos agrícolas, os sistemas de irrigação devem ser dimensionados de modo a obter uma aplicação mais uniforme de água, enquanto o manejo deve ser conduzido no sentido de maximizar a eficiência de uso (Frizzone, 1992).

Uma das etapas básicas na implantação ou manejo de um projeto de irrigação consiste em determinar a uniformidade de distribuição da água de irrigação, pois esta é o melhor indicativo da qualidade da irrigação. Muitas vezes, a qualidade de uma irrigação é verificada por meio da uniformidade com que a água é aplicada. Vários coeficientes foram desenvolvidos com a finalidade de quantificar a uniformidade de aplicação da água.

Quanto ao método de avaliação, os fatores que influenciam a determinação da uniformidade de distribuição são o espaçamento e o número de linhas radiais de coletores. De acordo com Davis (1966), o número de coletores a serem utilizados e o espaçamento entre esses dependem da relação entre a quantidade de amostras necessárias para obtenção de um valor preciso e a facilidade e economia na utilização de poucas amostras nos testes. Quanto maior a desuniformidade de um sistema de irrigação, maior será o número de amostras necessárias para obtenção de um valor preciso.

O emissor LEPA (“Low energy precision application” ou aplicação precisa de baixo consumo de energia) apresenta amplas possibilidades de irrigação nas mais diversas culturas, sendo que no Brasil tem-se restringido à cultura do cafeeiro em plantio circular.

Devido às características de aplicação de água de forma localizada, ocorre a necessidade de estudos quanto à metodologia para avaliação da uniformidade de aplicação de água em sistemas pivô central equipado com esses emissores.

Visando contribuir no estabelecimento de uma metodologia para avaliar de forma segura a uniformidade de aplicação de água do pivô central equipado com LEPA e o manejo em condições de campo, realizou-se este trabalho com o objetivo de determinar o número de emissores a ser avaliados em campo (100%, 50%, 33% ou 25%).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Um dos problemas que dificulta a utilização da metodologia tradicional para avaliar pivô central equipado com LEPA é que o emissor aplica água de forma localizada,

dificultando a coleta, devido à pequena área dos pluviômetros. Isso faz com que seja necessária a mudança da forma de aplicação de todos os emissores ao longo da linha lateral do pivô central, para área total, ocasionando perda de tempo na avaliação.

Outro problema é que a forma de aplicação em área total do emissor LEPA não permite uma coleta eficiente da lâmina aplicada nos pluviômetros.

Diante do exposto, foi elaborado um dispositivo para medição da vazão do emissor LEPA (Figura 1), que é composto por um recipiente cilíndrico de PVC com 0,3 m de altura e 0,1 m de diâmetro, uma união de 0,025 m (adaptada a uma das extremidades do recipiente de PVC), um recipiente cilíndrico de PVC com 0,07 m de altura e 0,025 m de diâmetro (adaptado a esta união), uma mangueira flexível com 1,5 m de comprimento e 0,025 m de diâmetro (adaptada ao recipiente de 0,07 m de altura).

A conexão do recipiente de PVC à mangueira é feita a partir do aquecimento de uma das extremidades da mangueira conectando esta ao recipiente de PVC, sendo que a outra extremidade da mangueira tem a função de direcionar a vazão do emissor, que passa pelo dispositivo, até o recipiente de volume conhecido. A extremidade do recipiente de PVC com 0,3 m de altura e 0,1 m de diâmetro, que ficou aberta, tem a função de envolver o emissor para conduzir a vazão do mesmo até o recipiente de volume conhecido.

Foi anexada uma haste de 1,5 m ao coletor utilizando-se uma braçadeira para servir como suporte para o dispositivo, permitindo, assim, avaliar emissores com altura superior a 2,0 m.

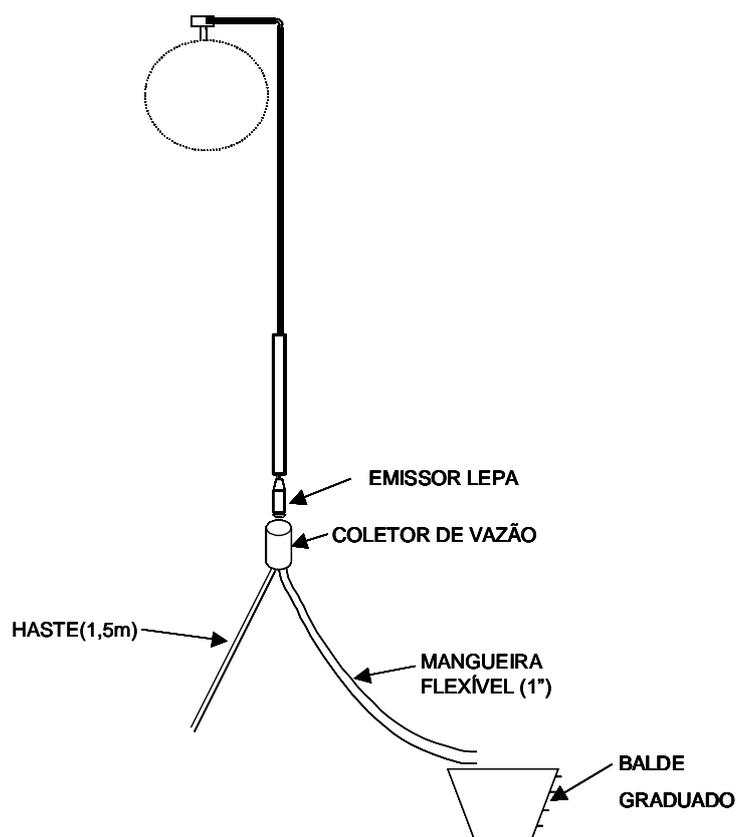


Figura 1. Desenho ilustrativo do dispositivo desenvolvido para coleta da vazão do emissor LEPA.

Após avaliar o pivô central equipado com LEPA, na Área de Observação e Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, localizada em Paula Cândido, MG, o dispositivo foi usado também para avaliar seis sistemas pivô central equipados com LEPA, localizados nos municípios de Patrocínio, Estrela do Sul e Uberlândia, MG, na região do Triângulo Mineiro.

4.1 Avaliação dos sistemas

Calcularam-se os coeficientes de uniformidade, utilizando-se a vazão de todos os bocais em dois raios (aclive e declive) e em 50%, 33% e 25% dos emissores, na tentativa de reduzir o número de medições de vazão dos bocais, sem, contudo, comprometer o valor dos coeficientes de uniformidade. Foi enumerada a relação de bocais dos emissores LEPA, conforme sua respectiva posição na linha lateral do pivô central avaliado, a fim de observar a lâmina de água aplicada ao longo da linha lateral do equipamento e verificar a necessidade ou não de troca da posição dos bocais.

A avaliação da uniformidade de distribuição de água dos sistemas e a avaliação de desempenho da irrigação foram realizadas, utilizando-se o programa computacional AVALIA (compõe um dos módulos operacionais do programa computacional IRRIGER), que permite ao usuário avaliar sistemas de irrigação por aspersão com base em dados obtidos de testes de campo, tais como lâmina aplicada, lâminas coletadas em malhas de coletores, vazão de emissores, vazão de sistema, pressão de serviço do sistema, dentre outros.

A velocidade de deslocamento da última torre de cada pivô foi determinada na regulagem de 100%, marcando-se um trecho de dez metros, ao longo da trilha da roda da torre, e medindo-se o tempo gasto para o equipamento percorrer a distância delimitada.

As pressões no ponto pivô e na extremidade do equipamento (último emissor) foram medidas, utilizando-se manômetro metálico. A adaptação de um manômetro à adutora do pivô permitiu medir a pressão de serviço no ponto pivô. A vazão do sistema foi determinada por meio do somatório das vazões individuais dos emissores instalados ao longo da linha lateral.

Utilizando-se os dados de vazão do sistema, estimou-se a lâmina média diária aplicada (Lmda), para 20 horas de funcionamento diário, por meio da equação:

$$Lmda = \frac{Q}{A} \cdot 20.000 \quad (1)$$

em que

Lmda = lâmina média diária aplicada, em mm dia⁻¹;

Q = vazão do sistema, em m³ h⁻¹; e

A = área irrigada pelo pivô central, em m².

Para o cálculo da lâmina de água aplicada (Lapl), utilizou-se a vazão do sistema, conforme a equação:

$$Lapl = \frac{Q \cdot T}{A} \cdot 1000 \quad (2)$$

em que

Lapl = lâmina de água aplicada, em mm volta⁻¹; e

T = tempo necessário para dar uma volta completa, h.

A partir dos dados de precipitação, a lâmina média coletada ponderada (L_p) foi calculada da seguinte forma:

$$L_p = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i S_i)}{\sum_{i=1}^n (S_i)} \quad (3)$$

em que

L_p = lâmina média coletada ponderada, em mm;

L_i = lâmina coletada nos pluviômetros de ordem i , em mm; e

S_i = distância do centro de rotação do pivô ao ponto i , em m.

Os valores de evapotranspiração de referência (E_{To}), utilizados no cálculo da eficiência potencial de aplicação proposta por Keller e Bliesner (1990), foram obtidos do banco de dados do programa computacional IRRIGER para o mesmo período e região em questão.

A eficiência de distribuição de água para área adequadamente irrigada de projeto ($EDad$) foi estimada, aplicando-se a metodologia apresentada por Keller e Bliesner (1990), ou seja:

$$EDad = 100 + (606 - 24,9 Pad + 0,349 Pad^2 - 0,00186 Pad^3) \left(1 - \frac{CUC}{100}\right) \quad (4)$$

em que

$EDad$ = eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada, em %;

Pad = porcentagem de área adequadamente irrigada, em %; e

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, em %.

A eficiência de irrigação para área de projeto adequadamente irrigada é um índice a ser utilizado na estimativa da lâmina aplicada, em uma condição de manejo adequado, possibilitando atingir uma porcentagem preestabelecida de área adequadamente irrigada. A eficiência de irrigação é estimada a partir dos valores da eficiência de distribuição de uma área de projeto adequadamente irrigada ($EDad$) e eficiência potencial de aplicação (E_{Pa}), obtidos por meio das metodologias desenvolvidas por Keller e Bliesner (1990), usando-se a seguinte expressão:

$$E_{ipad} = EDad \cdot E_{Pa_{Keller}} \cdot E_c \quad (5)$$

em que

E_{ipad} = eficiência de irrigação para área de projeto adequadamente irrigada (E_{ip80});

$EDad$ = eficiência de distribuição para uma porcentagem de área adequadamente irrigada, decimal (ED_{80});

EPa_{Keller} = eficiência, em potencial, de aplicação (Epa) descrita por Keller e Bliesner (1990); e
 Ec = eficiência de condução, decimal (considerou-se $Ec = 1$, pois as perdas foram consideradas nulas ou 0%).

A partir dos valores encontrados de EPa_{Keller} , da eficiência de condução dos sistemas e da ED_{80} , determinou-se a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (Eip_{80}), considerando-se um ajuste na lâmina aplicada para o valor referente ao déficit de água no solo em 80% da área.

No caso do cafeeiro, adotou-se um índice de 80% para área adequadamente irrigada, por se tratar de uma cultura de médio a alto valor econômico e cujo sistema radicular é bem desenvolvido.

A fim de possibilitar a realização da análise estatística, cada equipamento foi considerado como um experimento em virtude de seus diferentes tamanhos, da declividade do terreno, vazão e demais características próprias de cada sistema. Para cada sistema, foram gerados coeficientes de uniformidade de aplicação de água, utilizando-se médias móveis para cada repetição nos dois raios avaliados em campo, para cada uma das metodologias propostas.

Considerando-se os aspectos operacionais e que, durante os testes, os sistemas estavam em movimento, as repetições de medidas de vazões em cada emissor, ao longo da linha lateral de cada pivô, foram obtidas instantaneamente em cada emissor (três medidas de vazões), ou seja, não foram feitas medições completas de todo o raio para, então, retornar ao primeiro emissor e reiniciar as medidas de vazões.

Para proceder a análise de variância, utilizou-se o teste F, seguido de um teste de média, utilizando-se o teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. O teste F foi conclusivo para comparação entre raios, para cada equipamento avaliado. Para comparar as médias de cada metodologia proposta (50%, 33% e 25%) com as médias do tratamento padrão (100% dos emissores avaliados), utilizou-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas, utilizando-se o programa computacional SAEG (Euclides, 1983), e o teste de Dunnett (Banzatto e Kronka, 1992).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nas avaliações dos sete pivôs.

Foi observado que a eficiência em potencial de aplicação (Epa), que representa as perdas ocorridas por evaporação e arraste pelo vento, para os sistemas por aspersão, apresentou valores elevados para todos os sistemas avaliados, quando estimada por meio da metodologia proposta por Keller e Bliesner (1990).

Os testes utilizando o pivô central da marca VALLEY de 2,04 ha instalado na área de Observação localizada em Paula Cândido, MG, serviram para o aperfeiçoamento do dispositivo para coleta da vazão do emissor LEPA.

As avaliações realizadas na região do Triângulo Mineiro permitiram validar o uso do dispositivo que contribuiu para eliminar erros associados às medidas de vazões, quando se utilizam metodologias tradicionais, permitindo, assim, alcançar resultados mais precisos.

Tabela 1. Resultados dos parâmetros de desempenho de irrigação para os sete pivôs avaliados: lâmina média coletada (Lp), eficiência potencial de aplicação (EPakeller), eficiência de distribuição de projeto (ED₈₀) e eficiência para área de projeto adequadamente irrigada (Eip₈₀)

Parâmetro	Unid.	Raio	Pivô central						
			1	2	3	4	5	6	7
Lp	mm	aclive	2,55	2,10	2,62	3,57	4,30	3,80	0,86
		declive	3,14	2,31	-----	3,55	4,42	4,05	0,86
EPakeller	%	médio	97,83	97,79	97,66	97,98	97,85	97,91	97,83
ED ₈₀	%	aclive	90,13	92,00	89,22	83,36	79,99	90,00	93,45
		declive	92,67	92,42	-----	86,77	78,17	90,00	93,50
Eip ₈₀	%	aclive	88,17	89,97	87,13	81,68	78,27	88,11	91,42
		declive	90,66	90,38	-----	85,02	76,49	88,11	91,47

Nos sistemas avaliados, os valores de Eip₈₀ variaram de 76,49 a 91,47%, permitindo predizer que a lâmina bruta a ser aplicada nesses sistemas, para que 80% da área seja adequadamente irrigada, seja superior à lâmina requerida.

A Tabela 2 apresenta valores médios para os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), para 100%, 50%, 33% e 25% dos emissores avaliados em cada um dos raios.

Apenas para a metodologia usada na avaliação de 100% dos emissores foi feita a média das três repetições. Para as demais metodologias, os valores dos coeficientes de uniformidade foram obtidos a partir do cálculo da média móvel para as três repetições de precipitação coletadas em cada emissor ao longo da linha lateral de cada sistema avaliado.

Em sistemas de irrigação por pivô central, o CUC recomendado está na faixa de 75 a 85%, para culturas com sistema radicular profundo, como é o caso do cafeeiro, enquanto o CUD recomendado está acima de 70% (Bernardo, 1995).

Pode-se observar que, em todas as avaliações realizadas, exceto para os pivôs 3, 4 e 6, o valor do CUC é maior do que o valor de CUD, o que já era esperado, uma vez que o segundo coeficiente dá um tratamento mais rigoroso aos problemas de distribuição que ocorrem ao longo da linha do pivô.

O pivô 3 apresentou valores de CUC menores que CUD, em todas as avaliações, com exceção para 100% dos emissores avaliados. O mesmo comportamento foi observado para o pivô 4, para o raio em declive, sendo que no raio em aclive apenas a avaliação de 25% dos emissores apresentou valores de CUC menores que CUD.

A ocorrência de valores de CUC menores que CUD pode ser devido às penalizações causadas pelas metodologias propostas sobre as lâminas (50%, 33% e 25% dos emissores), somadas à penalização necessária para o cálculo de CUD (25% menores lâminas), permitindo, assim, uma melhor distribuição das lâminas utilizadas para o cálculo de CUD.

No caso do pivô central 5, a coleta de dados foi feita com apenas uma repetição para o raio em declive, não permitindo comparar, estatisticamente, os valores dos coeficientes de uniformidade entre os raios avaliados. Desta forma, foi possível comparar estatisticamente, somente, as metodologias propostas para o raio em aclive. No caso do pivô central 6, também não foi possível fazer a análise de variância, pois, a coleta de dados

foi feita com apenas uma repetição para ambos os raios. Isto ocorreu em campo, devido a problemas operacionais que impossibilitaram as avaliações em ambos os pivôs.

Tabela 2. Número de emissores (NE), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) e respectivo teste de média entre as metodologias e os raios em aclave (A) e declive (D) para cada sistema avaliado

LEPA	NE	Raio	CUC (%)*				CUD (%)*			
			% de emissores avaliados				% de emissores avaliados			
			100%	50%	33%	25%	100%	50%	33%	25%
1	77	A	90,57 aB	90,91 aB	91,46 bB	91,97 bB	86,63 aA	86,98 aA	87,69 aA	88,43 bA
		D	93,00 aA	92,77 bA	93,25 bA	93,67 bA	87,24 aA	87,15 bA	87,88 bA	88,40 bA
2	112	A	92,36 aB	92,32 aB	92,71 aB	92,90 bB	89,64 aA	90,15 bA	91,09 bA	91,52 bA
		D	92,76 aA	92,97 bA	93,59 bA	93,92 bA	87,60 aB	88,39 bB	89,30 bB	89,75 bB
3 **	106	A	89,70 a	89,63 a	90,12 b	90,50 b	89,57 a	89,73 b	90,35 b	90,72 b
4	149	A	84,11 aB	84,19 aB	84,34 aB	84,43 aB	83,65 aB	83,86 bB	84,17 bB	84,30 bB
		D	87,37 aA	87,03 aA	87,16 aA	87,17 aA	86,35 aA	87,04 bA	87,39 bA	87,68 bA
5 **	132	A	80,89 a	82,47 b	83,59 b	84,44 b	70,83 a	72,08 b	72,90 b	74,62 b
		D	79,15	80,22	81,13	81,61	66,80	69,31	71,94	73,83
6 **	111	A	91,19	92,80	93,50	93,88	88,19	91,00	92,05	92,84
		D	90,45	91,86	92,62	92,99	88,57	91,00	91,83	92,57
7	26	A	93,74 aA	94,00 aA	94,32 aA	94,59 bA	88,07 aA	89,26 bA	90,23 bA	91,53 bA
		D	93,79 aA	94,30 bA	94,79 bA	95,07 bA	88,14 aA	89,26 bA	90,63 bA	91,29 bA

- Média com a mesma letra minúscula entre colunas (% emissores avaliados) dentro do mesmo equipamento não tem diferença significativa pelo teste Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Média com a mesma letra maiúscula entre linhas (entre raios avaliados de cada pivô) não tem diferença significativa pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto à comparação entre os raios, apenas o pivô 7 não apresentou diferença estatística entre esses para ambos os coeficientes. A maioria dos sistemas apresentou valores mais elevados para o raio em declive, com exceção do pivô 2 para o cálculo de CUD, em que o raio em aclave apresentou melhores resultados. O pivô 1 apresentou diferença para o cálculo de CUD.

Entre os sete sistemas avaliados, apenas o pivô 4 não apresentou diferença estatística entre as metodologias, em relação ao método padrão (100% dos emissores avaliados), para o raio em declive, especificamente para o cálculo de CUC.

Para os pivôs 1 e 3, apenas para o raio em aclave, não houve diferença estatística em relação ao método padrão quando se avaliaram 50% dos emissores para o cálculo de CUC. Entretanto, para os valores de CUD, vale ressaltar que apenas o pivô 1 não apresentou diferença estatística para o raio em aclave, quando se avaliaram 50% e 33% dos emissores, em comparação com o método padrão.

Os pivôs 2 e 7 não apresentaram diferença estatística, em relação ao método padrão, apenas para o raio em aclave, quando se avaliaram 50% e 33% dos emissores, para o cálculo de CUC.

** Não foi possível avaliar, estatisticamente, os raios em declive para o pivô 3 e 5 e os dois raios para o pivô 6, devido ter sido feita somente uma coleta de dados sem repetição.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, nas condições em que os trabalhos foram conduzidos, possibilitaram as seguintes conclusões:

– A metodologia que avaliou 50% dos emissores não diferiu da metodologia que avalia 100% dos emissores, em todos os sistemas avaliados com exceção para os pivôs 5 e 7 que apresentaram diferenças estatística entre as metodologias propostas para a análise do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

– A avaliação de 33% e 25% dos emissores diferiu estatisticamente das demais metodologias.

– A avaliação de 50% dos emissores em sistemas pivô central equipado com emissor tipo LEPA, foi a que permitiu alcançar os melhores resultados, entre as metodologias propostas para a análise do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANZATTO, D. A., KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 247 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.

DAVIS, J. R. Measuring water distribution from sprinklers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 9, n. 1, p. 94-97, 1966.

EUCLYDES, R. F. **Sistemas para análises estatísticas e genéticas (SAEG)**. Manual provisório. Viçosa, MG: UFV, 1983. 74 p. (Apostila).

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53 p. (Série Didática, 3).

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 652 p.