

## COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE : SENSIBILIDADE A MUDANÇAS NOS FATORES OPERACIONAIS

**Lineu Neiva Rodrigues**  
**Jorge L. Pimenta Mello**  
**Everardo C. Mantovani**  
**Márcio M. Ramos**

*Universidade Federal de Viçosa, Deptº de Eng. Agrícola, CEP 36570-001, Viçosa, MG*

### I RESUMO

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. Neste trabalho objetivou-se avaliar a sensibilidade de alguns coeficientes de uniformidade a mudanças nos fatores operacionais; identificar entre os fatores operacionais testados aquele que mais influencia nos coeficientes e desenvolver um software que facilite o uso dos diversos coeficientes. Para isso realizou-se uma série de teste no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Viçosa. Os seguintes fatores operacionais foram avaliados: diâmetro de bocais, altura da haste do aspersor, tempo de duração do teste, pressão de operação do aspersor constante e variada, condição com e sem vento, e espaçamento entre aspersores e laterais; e os seguintes coeficientes: de Benami e Hore, de Wilcox e Swailes, de Karmeli, de Christiansen, de Hart e do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos. Considerou-se como sendo mais sensível o coeficiente que, para um dado fator, tivesse a maior variação. Pelos resultados concluiu-se que: 1º) o coeficiente proposto por Benami e Hore, foi o coeficiente mais sensível as mudanças dos fatores operacionais e os coeficientes propostos por Christiansen, Hart e Karmeli foram os coeficientes menos sensíveis. 2º) O espaçamento entre aspersores e linhas laterais foi o fator operacional que mais influenciou os coeficientes e o tempo de duração do teste o que menos influenciou.

**UNITERMOS:** Coeficientes de uniformidade, Sensibilidade, Fatores operacionais.

**RODRIGUES, L.R., MELLO, J.L.P., MANTOVANI, E.C., RAMOS, M.M.**  
**Uniformity Coefficients: Sensitivity to Operational Factor Changes**

## **2 ABSTRACT**

The aim of this work was to evaluate the sensitivity of uniformity coefficients. Tests were conducted at the Laboratory in Universidade Federal de Viçosa. Sensitivity of coefficients was evaluated taking into account the deviation obtained when changing a certain factor. The coefficient with the greatest deviation was considered the most sensitive. Results obtained showed that: 1. coefficient proposed by Benami and Hore was generally the most sensitive to changes in factors, Christiansen's, Hart's and Karmeli's coefficient were generally the least sensitive. 2. Both sprinkling and lateral spacing are the factor that mostly influences in coefficients.

**KEYWORDS:** Uniformity coefficients, Sensitivity.

## **3 INTRODUÇÃO**

Uma das etapas básicas quando da implantação ou manejo de um projeto de irrigação é a determinação da uniformidade de distribuição da água de irrigação, pois ela é o melhor indicativo da qualidade da irrigação. Via de regra, a uniformidade de aplicação da água de irrigação é quantificada por meio dos coeficientes de uniformidade.

Desde 1942, quando Christiansen apresentou o primeiro coeficiente de uniformidade, vários outros foram propostos. Normalmente, esses coeficientes se baseiam em princípios estatísticos e possuem diferentes sensibilidades às variações nos fatores operacionais. Dessa forma, a escolha incorreta do coeficiente pode afetar a interpretação dos resultados e conduzir a uma tomada de decisão errada.

Segundo Solomon (1979), a uniformidade de distribuição da água é afetada, principalmente, por cinco fatores: modelo do aspersor, tamanho e tipo do bocal, pressão de serviço, espaçamento entre laterais e aspersores e velocidade do vento.

O coeficiente proposto por Christiansen (CUC) é, atualmente, devido à sua simplicidade, o coeficiente mais utilizado. Benami (1983) comenta que em Israel o CUC é o coeficiente utilizado para avaliar a uniformidade de distribuição da água. O CUC é

função do módulo dos desvios em relação à média; sendo assim, desvios negativos e positivos são considerados como tendo o mesmo efeito. No entanto, quando a drenagem é satisfatória, a deficiência na irrigação é mais crítica.

Karmeli (1978), assumindo que a distribuição da água entre quatro aspersores é normalmente distribuída, apresenta um coeficiente (UCL). No entanto, estudos realizados por alguns pesquisadores, tais como Seniwongse et al. (1972), Chaudhry (1976), Elliot (1980) e Benami (1983), mostraram que essa consideração não é válida para a maioria dos casos.

Benami & Hore (1964) propuseram um coeficiente (A) que se mostrou mais sensível que o CUC em oito modelos de distribuição avaliados. Porém, o emprego desse coeficiente sem meios computacionais não é simples.

Devido à importância da escolha de um coeficiente que seja sensível às variações operacionais, tão comuns nos sistemas de irrigação, é que se realizou o presente trabalho, que teve como objetivos:

- a) avaliar a sensibilidade de alguns coeficientes de uniformidade a mudanças nos fatores operacionais;
- b) identificar o fator operacional que mais influencia os coeficientes de uniformidade; e
- c) desenvolver um software que facilite o uso dos diversos coeficientes.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, MG.

Para minimizar o efeito do coeficiente de variação de fabricação no estudo da sensibilidade dos coeficientes de uniformidade, utilizou-se apenas um aspersor. A uniformidade foi calculada utilizando os totais obtidos da superposição das lâminas coletadas pelos pluviômetros.

Para obtenção dos dados de precipitação utilizados no cálculo dos coeficientes, instalou-se, em torno do aspersor a ser testado, um conjunto de pluviômetros de 8 cm de diâmetro por 12 cm de altura, distantes um do outro de três metros, sendo que esses pluviômetros foram colocados em suportes de ferro, ficando a captação a 0,65 m de altura, para evitar respingo ou tombamento dos mesmos.

O tempo de duração de cada teste foi pré-fixado. Encerrado o teste, media-se a lâmina coletada pelos pluviômetros utilizando uma proveta milimetrada.

A pressão de operação do aspersor foi medida por meio de um manômetro de Bourdon com glicerina, instalado na base do aspersor. As leituras no manômetro foram realizadas a intervalos de 15 minutos com a finalidade de verificar qualquer variação na pressão.

No teste realizado no período diurno, com o objetivo de verificar a influência do vento nos coeficientes, quantificou-se a evaporação da água dos pluviômetros e a velocidade do vento. Nos demais testes, por terem sido realizados no período noturno, esses componentes não foram quantificados.

Para o cálculo dos coeficientes utilizou-se o programa Malha v. 1.0.

A sensibilidade dos coeficientes foi avaliada pelo maior desvio ( $\Delta C$ ) obtido ao se alterar determinado fator operacional. O maior desvio em relação a um dado coeficiente foi calculado pela Equação 1.

$$\Delta C = Mc - Mec \quad (1)$$

em que

Mc = maior coeficiente; e

Mec = menor coeficiente.

#### 4.1. Fatores Operacionais

Para analisar a sensibilidade dos coeficientes a mudanças nos fatores operacionais, considerou-se como referência o teste realizado utilizando o aspersor com diâmetro de bocal de 5,0 x 6,5 mm, altura de 1,20 m, pressão constante de 300 kPa, com tempo de duração do teste de 60 min e velocidade do vento nula. A partir do aspersor padrão variava-se apenas um fator operacional, mantendo os demais fixos. Os seguintes fatores foram avaliados:

- a) Diâmetro de Bocais (4,5x4,8; 5,0x6,5 e 6,0x9,5 mm);
- b) Altura do aspersor ao coletor (0,65; 1,20 e 2,20 m);
- c) Tempo de duração do teste (30; 60 e 90 min);
- d) Pressão (200; 300 e 400 kPa);
- e) Vento ( velocidade média do vento durante o teste foi de 1,7 m s<sup>-1</sup>);
- f) Espaçamentos entre aspersores e linhas laterais (6x6; 6x12; 12x12; 12x18 e 18x18 m);
- g) Pressão variada ( em intervalos de tempo de 15 min fechava-se, de uma quantidade pré-estabelecida, o registro de gaveta. A pressão obtida, em cada intervalo de 15 min, foi equivalente a: 150; 300; 400 e 550 kPa).

#### 4.2. Coeficientes Indicativos da Uniformidade de Distribuição da Água

Foram avaliados os seguintes coeficientes:

- a) de Benami e Hore (1964), calculado pela Equação 2:

$$A = 166 \frac{N_a}{N_b} \left[ \frac{2 T_b + D_b M_b}{2 T_a + D_a M_a} \right] \quad (2)$$

em que

$M_a$  = média do grupo de dados de precipitação acima da média geral ( $\bar{X}$ );

$M_b$  = média do grupo de dados de precipitação abaixo da média geral ( $\bar{X}$ );

$N_a$  = número de dados de precipitação acima da  $\bar{X}$ ;

$N_b$  = número de dados de precipitação abaixo da média  $\bar{X}$ ;

$T_a$  = soma dos dados de precipitação acima de  $M_a$ ;

$T_b$  = soma dos dados de precipitação abaixo de  $M_b$ ;

$D_a$  = diferença entre o número de dados de precipitação abaixo e acima de  $M_a$ ; e

$D_b$  = diferença entre o número de dados de precipitação abaixo e acima de  $M_b$ .

b) de Wilcox e Swailes (1947), calculado pela Equação 3:

$$CUE = 100 \left( 1 - \frac{Sd}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

em que

$Sd$  = desvio padrão dos dados de precipitação; e

$\bar{X}$  = média geral dos dados de precipitações.

c) de Karmeli (1978), calculado pela Equação 4:

$$UCL = 1 - 0,25 b \quad (4)$$

sendo que  $b$  é o coeficiente de regressão.

d) de Christiansen (1942), calculado pela Equação 5:

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right) \quad (5)$$

em que

$x_i$  = dados de precipitação;

$\bar{X}$  = média geral dos dados de precipitação; e

$n$  = número de dados de precipitação.

e) de Hart (1961), calculado pela Equação 6:

0

$$UCH = 100 \left( 1 - 0,8 \frac{Sd}{\bar{X}} \right) \quad (6)$$

f) do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos, calculado pela Equação 7:

$$CUD = 100 \frac{\bar{X}_{25}}{\bar{X}} \quad (7)$$

sendo que  $\bar{X}_{25}$  é a média dos 25% menores dados de precipitação.

Verificou-se, também, a influência da assimetria (As), do desvio padrão e da variação da lâmina aplicada ( $\Delta X$ ) nos coeficientes, sendo calculados pelas Equações 8, 9 e 10, respectivamente.

$$As = 3 \frac{(\bar{X} - md)}{Sd} \quad (8)$$

$$Sd = \left( \frac{\sum (x - \bar{X})^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$\Delta X = x_{\max} - x_{\min} \quad (10)$$

sendo

md = mediana;

$x_{\max}$  = precipitação máxima; e

$x_{\min}$  = precipitação mínima.

#### 4.3. Programa Computacional

O programa, denominado MALHA v.1.0, foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Delphi Versão 1.0.

O programa é dividido em quatro módulos, a saber: 1) entrada de dados; 2) calcula coeficientes; 3) gera relatório; 4) gráfico. O primeiro módulo permite que se entre com os dados de campo; o segundo utiliza as informações entradas no módulo de entrada de dados e calcula os coeficientes de uniformidade, desvio padrão, média aritmética, assimetria, curtose, lâmina máxima e mínima; o terceiro módulo permite gerar relatórios e o módulo gráfico apresenta diversos gráficos bi ou tri dimensionais.

A utilização do programa requer ambiente windows 3.1 ou superior.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

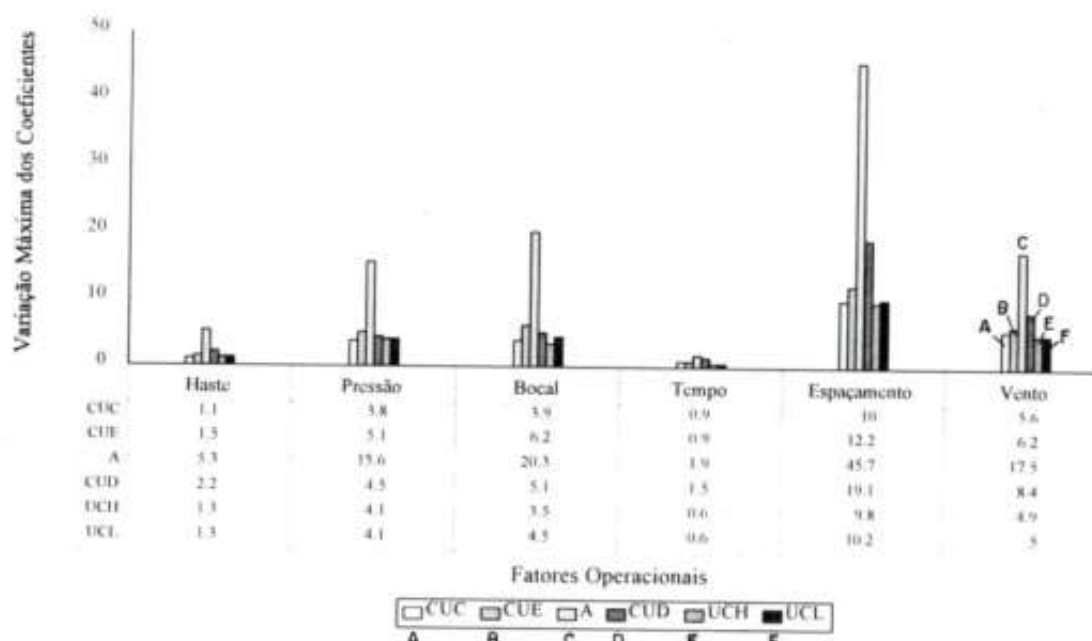
Na Figura 1 apresentam-se os maiores desvios ( $\Delta C$ ) dos coeficientes em função dos fatores operacionais testados. Observa-se, nessa Figura, que o coeficiente A foi, pelo critério adotado, o mais sensível às variações nos fatores operacionais. Nota-se que os coeficientes não foram muito sensíveis às variações no tempo de duração do teste. Esse resultado indica a pequena influência desse fator nos testes de uniformidade de aplicação de água, principalmente, sob condições de vento nulo.

Ainda na Figura 1, observa-se que o CUC, o UCH e o UCL foram os coeficientes que apresentaram menor sensibilidade aos fatores operacionais testados. Verifica-se que a sensibilidade desses coeficientes aos diversos fatores operacionais avaliados foi bastante semelhante, podendo-se considerar que não houve diferença entre elas.

A utilização de um coeficiente mais ou menos sensível às mudanças nas condições operacionais pode conduzir a tomada de decisões diferentes, dependendo do coeficiente que está sendo utilizado. Por exemplo, após a avaliação de um sistema de irrigação obteve-se CUC de 60 % e A de 80 %. Esses valores, geralmente, sugerem a necessidade de redimensionamento do sistema, em virtude dos baixos valores dos coeficientes. Após redução do espaçamento entre linhas laterais e nova avaliação do sistema obteve-se CUC de 65 % e A de 95 %. Com base no CUC haveria necessidade de novo redimensionamento do sistema, no entanto, se a análise for feita com base no coeficiente A, esse procedimento não seria necessário.

Em uma primeira análise há a tendência de atribuir a maior variação de A à sua maior amplitude. Todavia, observou-se que mesmo após reduzi-lo à mesma faixa de amplitude dos outros coeficientes, aquele, continuou sendo o mais sensível. Tal fato, pode ser melhor entendido pela análise da Equação 2. Nesta equação, observa-se que, além da média geral, são consideradas mais duas médias ( $M_a$  e  $M_b$ ). Uma relaciona às áreas que estão recebendo água em excesso e a outra as que estão recebendo em déficit. Isso aliado ao maior peso dado a essas áreas ( $2T_b$  e  $2T_a$ ), permite que pequenas alterações na lâmina aplicada sejam identificadas.

Verificou-se a mesma tendência entre os coeficientes, ou seja, quando um fator é alterado, observa-se a mesma propensão, em intensidade diferentes, de queda ou de aumento dos valores dos coeficientes. Observou-se uma coerência entre os coeficientes avaliados, ou seja, dentro de um mesmo fator operacional, o menor valor de um coeficiente sempre ocorreu associado com os menores valores dos outros coeficientes. Por exemplo, quando o fator analisado foi altura da haste do aspersor, os menores valores de todos os coeficientes ocorreram com a haste de 1,20 m e os maiores com a haste de 2,20 m.



**Figura 01 - Figura representativa dos maiores desvios dos coeficientes de uniformidade em função dos fatores operacionais.**

Se for considerado como referência o coeficiente A, os fatores operacionais que mais o influenciaram foram, em ordem decrescente: espaçamentos entre aspersores e laterais, diâmetro de bocal, velocidade do vento, pressão de serviço e altura da haste do aspersor e tempo de duração do teste. Por outro lado, se for considerado como referência o CUC, tem-se, em ordem decrescente, espaçamentos entre aspersores e laterais, velocidade do vento, diâmetro de bocal, pressão de serviço e altura da haste do aspersor e tempo de duração do teste.

Os fatores operacionais que menos afetaram os coeficientes foram o tempo de duração do teste e a altura da haste do aspersor.

Pela análise dos dados, observou-se que o CUD foi o coeficiente mais rigoroso, ou seja, foi o coeficiente que indicou as maiores desuniformidades de aplicação da água, o que pôde ser verificado pelos valores mais baixos desse coeficiente.

Este trabalho caracterizou-se por altos valores de uniformidade ( $CUC > 85\%$ ). Não se verificou relação entre os coeficientes de uniformidade e a assimetria, conforme já havia sido comprovado por Seniwonge (1972), que encontrou relação entre esse parâmetro estatístico e o CUC apenas sob condição de baixa uniformidade. Segundo o



mesmo autor, baixos valores de uniformidade de aplicação de água tendem a apresentar assimetria positiva. No entanto, grande parte dos resultados obtidos neste trabalho apresentam alta uniformidade com assimetria positiva.

Salienta-se, no entanto, a importância de observar a assimetria antes do uso das equações que consideram a distribuição da água entre quatro aspersores como normalmente distribuída.

Não foi observado, também, relação entre desvio padrão, diferença entre a lâmina máxima e mínima e os coeficientes de uniformidade.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho analisou-se a importância de se escolher adequadamente o coeficiente de uniformidade ao se realizar um redimensionamento com base nos valores dos coeficientes de uniformidade. Verificou-se, entre os coeficientes, uma diferença de sensibilidade aos diferentes fatores operacionais considerados.

Pelos resultados apresentados pode-se concluir que:

- O coeficiente A, proposto por Benami e Hore, foi o coeficiente mais sensível às mudanças dos fatores operacionais. O CUC, proposto por Christiansen, o UCH, proposto por Hart, e o UCL, proposto por Karmeli, foram os coeficientes menos sensíveis a essas mudanças.

- O espaçamento entre linhas laterais e aspersores foi o fator operacional que mais influenciou a variação dos coeficientes e o tempo de duração do teste o que menos influenciou.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENAMI,A., OFEN,A. Irrigation Engineering. 1983. 257p.  
BENAMI,A. & HORE,F.R. A new Irrigation-Sprinkler Distribution Coefficient. Trans. ASAE(Am. Soc. Agric. Eng.). 157-158. 1964.  
CHAUDRY,F.H. Sprinkler uniformity measures and skewness. J.I.D.D. IR 4: 425-433. 1976  
ELLIOT,R.L.; NELSON,J.D.;LOFTIS,J.C.; HART,W.E. Comparison of sprinkler uniformity models. J.I.D.D. IR 4: 321-330. 1980.  
HART,W.E. Statistical Distributions of Sprinkler Application Depths. Paper N. 79-2081

- KARMELI, D. Estimating Sprinkler Distribution Patterns Using Linear Regression. Trans. ASAE(Am. Soc. Agric. Eng.), 21(2):682-685. 1978.
- SENIWONGSE, C.; I-PAI WU; REYNOLDS, W.N. Skewness and kurtoses influence on uniformity coefficient, and application to sprinkler irrigation design. Trans. ASAE(Am. Soc. Agric. Eng.), 266-271. 1972.
- SOLOMON, K. Variability sprinkler coefficient of uniformity test results. Trans. of the ASAE(Am. Soc. Agric. Eng.), 1078-1080. 1979.
- WILCOX, J.C. & SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. Scientific Agriculture. 27(11):565-583. 1947.