

# UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POR ASPERSÃO CONVENCIONAL NA SUPERFÍCIE E NO PERFIL DO SOLO<sup>1</sup>

Elder Manoel de Moura Rocha<sup>2</sup>, Raimundo Nonato Távora Costa<sup>3</sup>,  
Shirley Maria da Silva Mapurunga<sup>4</sup> & Paulo Teodoro de Castro<sup>5</sup>

## RESUMO

Este trabalho foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, região metropolitana de Fortaleza, para se avaliar a uniformidade de distribuição superficial e subsuperficial da água aplicada na irrigação por aspersão convencional, através dos coeficientes de uniformidade: Christiansen (CUC), Wilcox-Swailes (CUE), Hart (CUH), Criddle (CUD) e HSPA (UDH). Os elevados valores de uniformidade (> 85%) observados no perfil do solo, mesmo quando os coeficientes obtidos na superfície foram aquém dos valores mínimos recomendados, mostraram que a água no interior do solo e quando comparada com os níveis de distribuição na superfície, é mais uniformemente distribuída e pouco depende da uniformidade superficial. Os coeficientes de uniformidade avaliados podem ser usados indistintamente na análise de desempenho subsuperficial do sistema de irrigação estudado, no qual foram observados baixos coeficientes de variação, o mesmo não ocorrendo na análise superficial.

**Palavras-chave:** irrigação, coeficientes de uniformidade, distribuição superficial e subsuperficial

## WATER DISTRIBUTION UNIFORMITY OF CONVENTIONAL SPRINKLE ON SURFACE AND IN SOIL PROFILE

## ABSTRACT

This work was carried out in the Center of Agricultural Sciences of the Federal University of Ceará, metropolitan area of Fortaleza. The uniformity of superficial and subsuperficial distribution of water applied by sprinkle irrigation was evaluated, through uniformity coefficients: Christiansen (CUC), Wilcox-Swailes (CUE), Hart (CUH), Criddle (CUD) and HSPA (UDH). The high uniformity values (> 85%) observed in the soil profile, even when the coefficients obtained on the surface were below the recommended minimal values, showed that the water inside the soil, when compared with the distribution levels at the surface, is more evenly distributed and little depends on the superficial uniformity. The evaluated uniformity coefficients can be used without distinction in the analysis of subsuperficial performance of the studied irrigation system, where low variation coefficients were observed, which did not occur in the analysis of superficial performance.

**Key words:** irrigation, uniformity coefficients, superficial and subsuperficial distribution

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado defendida pelo primeiro autor na UFC, Fortaleza, CE

<sup>2</sup> M.Sc. em Agronomia/Irrigação e Drenagem, Pesquisador da EBDA, Praça Imaculada Conceição 20, CEP 48900 - 000, Juazeiro, BA, Fone (074) 811 7666, E-mail: ebdajua@lkn.com.br

<sup>3</sup> Dr. em Irrigação e Drenagem, Prof. Adjunto, DENA/CCA/UFC, Campus do Pici, Bloco 804, CEP 60455 - 760, Fortaleza, CE, Fone: (085) 288 9765, E-mail: rntcosta@ufc.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônoma, M.Sc. Agronomia/Irrigação e Drenagem, DENA/CCA/UFC

<sup>5</sup> M.Sc. em Agrometeorologia, Prof. do DENA/CCA/UFC

## INTRODUÇÃO

O uso da água na agricultura representa, a nível mundial, cerca de 70% de toda a água doce, enquanto a indústria utiliza 23% e o abastecimento humano, 7% (Santos, 1998). Isto demonstra a necessidade dos irrigantes, seus principais usuários, em usá-la com a maior eficiência possível, face às reservas de água utilizável estarem cada vez mais escassas, especialmente nas regiões onde são mal distribuídas temporalmente, como na região semi-árida do Nordeste brasileiro.

Na irrigação por aspersão o sistema precisa ser avaliado após a implantação do projeto, visando verificar se o seu desempenho está de acordo com o que foi preestabelecido possibilitando, se necessário, a realização de ajustes para melhorar a sua performance e, periodicamente, com o objetivo de avaliar a qualidade da manutenção e do manejo do sistema. Segundo Frizzone (1992) o coeficiente de uniformidade de distribuição da água e a eficiência de aplicação são os principais parâmetros utilizados nesta avaliação, pois expressam a qualidade da irrigação e são decisivos no planejamento e na operação desses sistemas. O coeficiente de uniformidade exprime a variabilidade da lâmina de irrigação na superfície do solo e é influenciado, principalmente, pelo espaçamento entre aspersores, velocidade do vento e pressão de serviço. As medidas de eficiência quantificam fisicamente a qualidade da irrigação e dependem da uniformidade e do manejo do sistema.

Muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão, na superfície do solo. O primeiro deles foi proposto por Christiansen (1942) e adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão (CUC). 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 Criddle et al. (1956) introduziram outra medida da uniformidade, considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada (CUD). 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.

O CUC é o coeficiente mais conhecido e, pela sua simplicidade, o mais utilizado. Por convenção, 80% representam, em geral, o seu valor mínimo aceitável. Segundo Gomes (1994) admitem-se valores de CUC < 80%, se a área a irrigar recebe chuvas durante o período de irrigação, se a planta possui sistema radicular profundo ou, ainda, se a economia obtida no custo da instalação, com maiores espaçamentos entre aspersores e entre linhas laterais, compensar a redução do rendimento da cultura irrigada. Rodrigues et al. (1997) afirmam que, como o CUC é função do módulo dos desvios em relação à média, desvios negativos e positivos são considerados como tendo o mesmo efeito e, no entanto, quando a drenagem é satisfatória, a deficiência de irrigação é mais crítica. Esses últimos autores avaliaram a sensibilidade de diferentes coeficientes de

uniformidade a mudanças nos fatores operacionais e concluíram que o espaçamento entre linhas laterais e aspersores, seguido pela velocidade do vento, diâmetro do bocal e pressão de serviço, foi o fator operacional que mais influenciou nas variações dos coeficientes; já o tempo de duração do teste e a altura de lançamento são os que menos influenciaram. Sales (1997) avaliando a irrigação por aspersão através dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD, CUH, CUE e UDH, medidos na superfície do solo, concluiu que todos eles poderiam ser usados indistintamente na determinação da performance do sistema. Para Frizzone (1992) o CUC não é substituído com vantagem por nenhum dos demais coeficientes propostos.

Usualmente, os sistemas de irrigação por aspersão são avaliados apenas com base nos parâmetros medidos na superfície do solo, porém a extração de água pela cultura, na profundidade efetiva da raiz, depende da capacidade de armazenamento de água pelo solo, da profundidade da raiz e da espécie de cultura. Isto mostra que a distribuição da água no perfil do solo é tão importante quanto a que ocorre na sua superfície, devendo ser considerada se o objetivo do projeto é propiciar um manejo de água eficiente e econômico. Ao se desconsiderar o movimento lateral da água no perfil do solo, seguindo-se gradientes de potenciais, pode-se estar subestimando a eficiência de funcionamento do sistema de irrigação. Elevados valores nos coeficientes de uniformidade abaixo da superfície do solo, em pequenos espaços de tempo, mesmo quando a uniformidade da água aplicada na superfície do solo foi baixa, foram observados em condições de laboratório, por Hart (1972) e em trabalhos no campo realizados por Paiva (1980), Rezende (1992) e Li & Kawano (1996) em diferentes classes de solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de uniformidade de distribuição superficial de água da irrigação por aspersão convencional na redistribuição da água no perfil de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, através dos coeficientes de uniformidade mais usuais, visando-se gerar informações que possam contribuir para um manejo racional da água nas áreas irrigadas do Nordeste.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização do experimento

O experimento foi realizado de outubro de 1997 a janeiro de 1998, no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), região metropolitana de Fortaleza, a 3° 44' de latitude Sul, 38° 33' de longitude Oeste de Greenwich e 19,5 m de altitude, em solo classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo, classificação textural franco-arenosa e franco-areno-argilosa, para as camadas A (0 – 0,25 m) e B (0,25 – 0,50 m de profundidade) respectivamente, apresentando velocidade de infiltração básica (VIB) de 16 mm h<sup>-1</sup>, teor de umidade à base de volume na capacidade de campo de 0,196 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (camada A) e 0,194 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (camada B) e densidade do solo média de 1.650 e 1.540 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente, nas profundidades de 0,125 e 0,375 m, representativas das camadas A e B.

Realizaram-se três testes com os aspersores espaçados de 12 x 12, 12 x 18 e 18 x 18 m, nos quais se utilizaram os aspersores das marcas Agropolo (modelo NY 30) e Fabrimar (modelos A232 ECO e A1823 M) respectivamente.

Utilizou-se a sonda de neutrons da marca Troxler, série 3330, fonte 10 mCi de Amerício-Berílio, para a determinação da umidade do solo à base de volume nos pontos, profundidades e momentos preestabelecidos. Quando da calibração da sonda de neutrons no campo, regulou-se a leitura-padrão da sonda em um tambor cheio de água efetuando-se, em 4 tubos de acesso, onze leituras (contagens relativas – CRs) em diferentes dias, nas profundidades de 0,125 e 0,375 m. Concomitantemente obtiveram-se, através de tradagens, amostras de solo para a determinação da umidade à base de massa pelo método gravimétrico, cujos valores foram transformados em umidade à base de volume. Com os valores médios das contagens relativas e de umidade, ajustaram-se regressões lineares para cada profundidade analisada, sendo:

$$\theta = 0,5386CR + 0,0452 \quad (r^2 = 0,9166), \text{ prof. } 0,125 \text{ m} \quad (1)$$

$$\theta = 0,6723CR - 0,039 \quad (r^2 = 0,9596), \text{ prof. } 0,375 \text{ m} \quad (2)$$

### Instalação do experimento e procedimento

A Figura 1 mostra o esquema de instalação do sistema de irrigação. A pressão de serviço foi determinada utilizando-se dois manômetros de Bourdon, graduados e com variação de  $0,5 \text{ Kgf cm}^{-2}$ , acoplados em mangueira plástica com 10,0 m de comprimento e 0,008 m de diâmetro, fixada nos tubos de elevação a 0,10 m das bases dos primeiros aspersores, nas proximidades da área útil e regulados por registros de gaveta instalados nas bases dos tubos de elevação. Usou-se, também, na regulagem da pressão de serviço, um manômetro e um

registro de gaveta acoplados na saída da bomba, procedimento que evitou as perturbações freqüentemente observadas, quando se regula a pressão de serviço no bocal do aspersor com o uso de manômetro acoplado ao tubo de pitot.

A área do experimento apresenta relevo suavemente plano, com 2,0% de declividade e sem cobertura vegetal. Quando da instalação do experimento fez-se uma gradagem cruzada e, durante sua condução, realizaram-se capinas manuais.

Considerando-se os maiores espaçamentos utilizados entre linhas e aspersores ( $18 \times 18 \text{ m}$ ) instalaram-se, na área útil, 36 ( $6 \times 6$ ) tubos de acesso para a sonda de neutrons, com o objetivo de se realizar as medições do teor de água no perfil do solo a 0,125 e 0,375 m representando, respectivamente, as camadas A e B.

A coleta das precipitações dos aspersores na superfície do solo foi feita com um coletor (lata de alumínio com 0,0985 m de diâmetro e capacidade de 1,0 L) a 0,30 m de cada tubo de acesso, fixado sobre um suporte de ferro, a 0,20 m de altura.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos na Estação Agrometeorológica do CCA/UFC, localizada a 100 m da área do experimento. A velocidade e direção do vento eram mensuradas através de um anemômetro totalizador de canecas e de uma biruta tipo rosa-dos-ventos, instalados na área do experimento, a 2,0 m de altura da superfície do solo; já a medição da evaporação ocorrida durante os testes era realizada em dois pontos próximo à área do experimento.

A seqüência dos procedimentos durante a realização dos testes foi a que se segue:

- regulagem da leitura-padrão da sonda de neutrons em um tambor com 200 L de água;
- determinação do teor médio de umidade à base de volume na área útil, através de leitura média das CRs da sonda de neutrons a 0,125 e 0,375 m de profundidade em cada tubo de acesso, pelo uso das Eqs. 1 e 2;
- cálculo da lâmina de água necessária para elevar o teor de umidade atual à capacidade de campo, usando-se a equação:

$$Y_r = (\theta_{CC,A} - \theta_{MÉD,A}) \cdot P_A + (\theta_{CC,B} - \theta_{MÉD,B}) \cdot P_B \quad (3)$$

em que:

$Y_r$  - lâmina requerida, em mm

$\theta_{CC}$  - teor de umidade, à base de volume, na capacidade de campo para as camadas A e B, em  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

$P$  - profundidade das camadas A e B, em mm.

- determinação do tempo de irrigação do teste pelas informações de vazão e intensidade de precipitação, obtidas nos catálogos dos fabricantes dos aspersores;
- colocação dos pluviômetros com a seção de captação voltada para cima;
- colocação de 200 mL de água em cada um dos dois coletores destinados a medição da evaporação;
- acionamento do sistema e início da irrigação;
- regulagem da pressão de serviço por meio de registros de gaveta e manômetros, realizada no início do teste, com monitoramento e ajustes realizados de 15 em 15 min, durante toda a duração da irrigação;
- realização das leituras de velocidade e direção do vento feitas no anemômetro totalizador de canecas e na biruta rosa-dos-ventos, a cada 30 min;

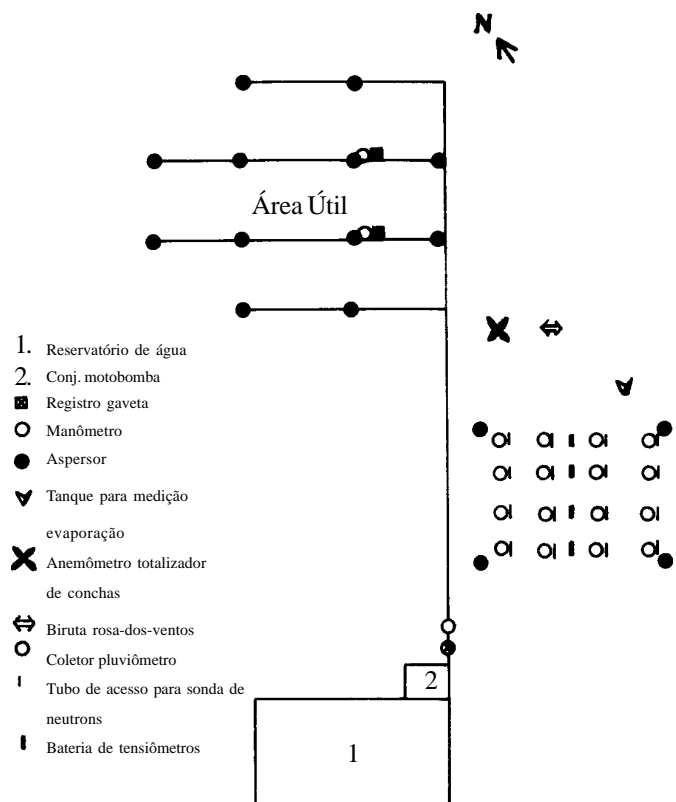


Figura 1. Croqui da área do experimento e detalhe da área útil para o ensaio com os espaçados de  $12 \times 12 \text{ m}$

- j) desligamento do sistema, após transcorrido o tempo de irrigação;
- k) medição do volume de água coletado em cada pluviômetro, tanto nos coletores destinados à medição da evaporação como nos coletores da área útil, para a determinação dos coeficientes de uniformidade na superfície do solo, com o uso de provetas graduadas de 50, 100 e 1000 mL;
- l) leitura com a sonda de neutrons das CRs em cada tubo de acesso, a 0,125 e 0,375 m de profundidade, logo após a irrigação e às 6, 12, 24 e 48 h da irrigação, para a determinação dos coeficientes de uniformidade.

### Parâmetros de avaliação

Na análise dos testes usaram-se os coeficientes de uniformidade CUC, CUE, CUH, CUD e UDH, respectivamente, calculados pelas Eqs. 4, 5, 6, 7 e 8, na determinação da distribuição superficial e subsuperficial da água aplicada, e o programa de computador Surfer, versão 5.0 (1993/4) para visualização das superfícies de resposta dessas distribuições.

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{med}|}{n \cdot x_{med}} \right\} \quad (4)$$

$$CUE = 100 \left( 1 - \frac{Sd}{x_{med}} \right) \quad (5)$$

$$CUD = 100 \left( \frac{x_{25}}{x_{med}} \right) \quad (6)$$

$$CUH = 100 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left( \frac{Sd}{x_{med}} \right) \right\} \quad (7)$$

$$UDH = 100 \left( 1 - 1,27 \frac{Sd}{x_{med}} \right) \quad (8)$$

sendo:

*CUC* - coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %

$x_i$  - valores de precipitação, em mm

$x_{med}$  - média geral dos valores de precipitação, em mm

*n* - tamanho da amostra

*CUE* - coeficiente de uniformidade estatístico, em %

*Sd* - desvio-padrão dos valores de precipitação, em mm

*CUD* - coeficiente de uniformidade de distribuição, em %

$x_{25}$  - média do menor quartil, em mm

*CUH* - coeficiente de uniformidade de Hart, em %

*UDH* - eficiência padrão da HSPA, em %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados técnicos e climáticos observados durante a execução dos testes no campo. Observa-se que os testes foram realizados em condições climáticas com

baixa amplitude de variação, ou seja, moderadas velocidades médias de vento (2,2 a 2,8 m s<sup>-1</sup>) e altos valores de umidade relativa média do ar (57,4 a 64,6%) e de temperatura (29,3 a 30,9° C). No Teste 1 a intensidade de aplicação de água foi elevada (15,5 mm h<sup>-1</sup>), o que reduziu o tempo de irrigação (2,2 h), determinando uma perda d'água média por evaporação, de 0,87 mm h<sup>-1</sup>. Os testes 2 e 3 apresentaram intensidade de aplicação de água moderada (7,1 e 9,6 mm h<sup>-1</sup>) com duração de irrigação de 4,4 e 3,1 h e perdas d'água média por evaporação de 0,64 e 0,93 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 1. Dados técnicos e climáticos observados durante a execução dos testes no campo

Discriminação	Testes		
	I	II	III
Marca dos Aspersores	Agropolo	Fabrimar	Fabrimar
Modelo	NY 30	A232 ECO	A1823 M
Diâmetro dos bocais (mm)	5,4 x 4,9	4,0 x 2,8	4,0 x 5,4
Espaçamento entre aspersores e linhas de aspersores (m)	12 x 12	12 x 18	18 x 18
Lâmina aplicada (mm)	33,5	31,2	30,2
Intensidade de aplicação (mm h <sup>-1</sup> )	15,5	7,1	9,6
Pressão de serviço (kPa)	150	300	300
Velocidade média do vento (m s <sup>-1</sup> )	2,8	2,2	2,4
Temperatura média do ar (°C)	30,9	30,1	29,3
Umidade relativa média do ar (%)	57,4	62,7	64,6
Evaporação média durante a irrigação (mm h <sup>-1</sup> )	0,89	0,93	0,64

### Uniformidade de distribuição de água na superfície do solo

Na Tabela 2 são apresentados as lâminas médias coletadas e os coeficientes de uniformidade das distribuições superficiais da água aplicada, cujos valores encontrados variaram de 53,5 a 78,0%, valores esses inferiores aos convencionalmente recomendados para a operação de um sistema de irrigação por aspersão. Encontraram-se valores de CUC entre 69,3 e 78,0% e de CUD entre 55,4 e 68,4% que, segundo Merriam & Keller (1978) seriam aceitáveis para irrigação complementar em frutíferas com raízes profundas, mas não seriam recomendáveis para a irrigação de culturas de alto valor econômico, com sistema radicular pouco profundo, nos quais os valores de CUC e CUD devem ser superiores a 88,0 e 80,0%, respectivamente.

No teste realizado com os maiores espaçamentos entre aspersores e linhas de aspersores (18 x 18 m) observaram-se os maiores valores dos coeficientes superficiais de uniformidade,

Tabela 2. Lâminas médias coletadas (mm) e coeficientes de uniformidade da distribuição da água aplicada (%) referentes aos testes realizados no campo

Parâmetros	Testes		
	I	II	III
Lâmina média coletada (mm)	30,0	24,1	23,1
CUC (%)	74,8	69,3	78,0
CUE (%)	66,2	63,4	71,6
CUH (%)	73,0	70,8	77,3
CUD (%)	65,4	55,4	68,4
UDH (%)	57,0	53,5	63,9

o que deve ser atribuído ao melhor desempenho do aspersor de latão forjado Fabrimar A1823 M, em relação aos aspersores plásticos Fabrimar A232 ECO e Agropolo NY 30 que, mesmo operando em pressão de serviço recomendada pelos fabricantes, apresentaram velocidade de rotação inconstante, prejudicando a performance dos mesmos.

### Uniformidade de distribuição de água no perfil do solo

A Tabela 3 apresenta os dados de umidade média à base de volume ( $\theta_{md}$ ) e os coeficientes de uniformidade das distribuições subsuperficiais de umidade, nos níveis e momentos preestabelecidos. Os teores médios de  $\theta_{md}$  encontrados antes da irrigação variaram de 13,1 a 15,0%, de 15,4 a 16,6% e de 14,3 a 15,8%, respectivamente para as distribuições a 0,125 e 0,375 m de profundidade e para a média de toda a camada de solo estudada. Logo após a irrigação observaram-se os maiores valores de  $\theta_{md}$  nas distribuições a 0,125 m,  $\theta_{md}$  entre 18,2 a 20,0%, este último valor acima da capacidade de campo e, nas distribuições médias de todo o perfil de solo,  $\theta_{md}$  entre 17,4 a 18,5%. Para a distribuição de  $\theta_{md}$  a 0,375 m de profundidade, os maiores valores encontrados foram, no geral, a 12 h do término da irrigação,  $\theta_{md}$  entre 16,9 a 17,4%, valores estes abaixo da capacidade de campo. Observou-se que, nesta profundidade, a variação da umidade foi inferior à de 0,125 m, provavelmente pelas condições de compactação do solo terem reduzido a condutividade hidráulica do solo nesta camada pois, segundo Brady (1983) qualquer fator que exerça influência sobre o tamanho e a configuração dos poros, influenciará também a condutividade hidráulica, além das condições ambientais (baixa umidade relativa do ar, elevada temperatura e evaporação e moderada velocidade do vento) e da componente gravitacional proporcionarem, logo após o final da recarga, diminuição de umidade na camada mais superficial do solo. A Figura 2 mostra a variação da umidade com o tempo, referente ao Teste I.

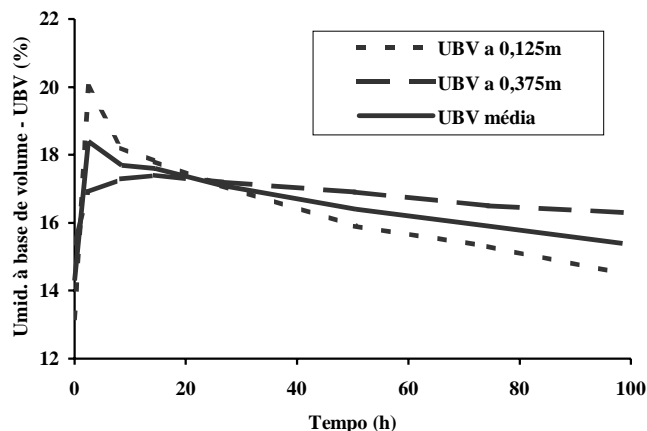


Figura 2. Variação da umidade com o tempo, referente ao Teste I

Inicialmente encontraram-se, para as distribuições médias no perfil do solo, valores de CUC entre 89,5 e 96,4%, e de CUD entre 82,3 e 94,1%, mostrando que as distribuições de umidade no perfil do solo, antes da irrigação, já apresentavam elevados valores nos coeficientes de uniformidade; isto ocorre porque, quando o solo contém baixo teor de umidade, normalmente apresenta elevados valores de uniformidade face aos baixos regimes de fluxo, pois só existem praticamente fenômenos de adsorção.

De modo geral e como consequência da desuniforme aplicação de água na superfície do solo, ocorreram reduções nos coeficientes de uniformidade no perfil do solo, logo após o término da irrigação. Para a distribuição média de umidade no perfil do solo observaram-se valores de CUC entre 88,2 e 93,1%, e de CUD entre 81,6 e 89,2% porém, para as leituras realizadas 6 h após a irrigação, tais valores aumentaram gradativamente, com valores de CUC entre 88,7 e 95,2% e de CUD entre 81,8 e

Tabela 3. Umidade à base de volume média ( $\theta_{md}$ ) e coeficientes de distribuição subsuperficial de  $\theta$ , em %, a 0,125 e 0,375 m de profundidade e média, antes da irrigação (AI), logo após a irrigação (DI) e com 6, 12, 24 e 48 h da irrigação

Momento	Teste I						Teste II						Teste III					
	$\theta_m$	CUC	CUE	CUH	CUD	UDH	$\theta_m$	CUC	CUE	CUH	CUD	UDH	$\theta_m$	CUC	CUE	CUH	CUD	UDH
0,125m de profundidade																		
AI	13,2	93,2	90,6	92,5	88,5	88,1	13,1	91,7	90,1	92,1	87,9	87,4	15,0	90,0	86,4	89,1	82,9	82,7
DI	20,0	93,9	91,8	93,5	90,1	89,6	18,2	89,1	86,4	89,2	81,2	82,8	20,0	89,3	86,5	89,2	80,2	82,9
6	18,2	94,5	92,9	94,3	91,5	91,0	17,5	89,9	87,8	90,3	82,8	84,5	19,1	90,6	87,8	90,2	83,4	84,5
12	17,8	93,4	91,7	93,4	89,6	89,5	17,4	90,5	88,5	90,8	83,8	85,4	18,3	90,1	87,5	90,0	83,2	84,1
24	17,1	93,5	92,0	93,6	90,1	89,9	16,6	90,4	88,2	90,6	82,7	85,1	16,7	90,8	88,0	90,4	83,8	84,8
48	15,9	92,6	90,9	92,8	89,2	88,5	16,0	91,4	89,2	91,4	84,2	86,3	16,4	91,1	88,1	90,5	84,3	84,9
0,375m de profundidade																		
AI	15,4	94,7	92,5	94,0	90,7	90,4	15,7	88,3	85,6	88,5	85,2	81,7	16,6	87,9	85,3	88,3	79,6	81,4
DI	16,9	90,2	85,5	88,5	85,7	81,6	16,6	85,6	81,0	84,8	81,6	75,9	17,1	86,8	83,8	87,1	78,8	79,4
6	17,3	93,5	91,4	93,1	89,9	89,1	16,9	86,0	81,6	85,3	81,3	76,6	17,3	87,4	84,3	87,5	79,1	80,1
12	17,4	94,0	91,6	93,3	89,4	89,3	16,8	85,8	81,5	85,2	80,7	76,5	17,4	87,6	84,6	87,7	79,5	80,4
24	17,2	93,4	91,7	93,4	89,8	89,5	16,8	85,9	81,0	84,8	78,8	75,9	17,4	87,5	84,6	87,7	79,4	80,5
48	16,9	94,3	92,5	94,0	90,9	90,4	16,6	87,2	82,8	86,3	80,4	78,1	17,3	88,0	85,2	88,2	80,2	81,2
Média (camada 0 - 0,50m)																		
AI	14,3	96,4	94,8	95,9	94,1	93,4	14,4	91,1	89,2	91,4	90,0	86,3	15,8	89,5	87,2	89,8	82,3	83,8
DI	18,4	93,1	89,9	92,0	89,2	87,2	17,4	88,2	85,3	88,2	82,1	81,3	18,5	89,8	86,9	89,6	81,6	83,4
6	17,7	95,2	93,5	94,8	92,9	91,8	17,2	88,7	86,0	88,8	83,2	82,2	18,1	89,9	87,2	89,8	81,8	83,7
12	17,6	95,3	93,4	94,8	92,4	91,7	17,1	88,7	86,3	89,0	83,5	82,6	17,8	89,7	86,9	89,6	81,5	83,4
24	17,1	95,6	94,1	95,3	94,1	92,6	16,7	89,0	86,4	89,1	83,4	82,7	17,0	90,6	88,0	90,4	83,1	84,8
48	16,4	95,6	94,0	95,2	93,6	92,4	16,3	90,3	87,7	90,2	84,8	84,4	16,7	91,0	88,5	90,8	83,7	85,3

92,4%. Com o passar do tempo, a uniformidade no perfil do solo tendeu para aquela antes da irrigação, conforme se observou 48 h após o término da irrigação.

As Figuras 3 A-D apresentam a distribuição espacial da lâmina de água na superfície e no perfil do solo, referentes ao teste com os aspersores, espaçados 12 x 18 m, demonstrando que a desuniforme aplicação da água na superfície do solo (CUC = 69,3%) pouco alterou as elevadas uniformidades de distribuição da água no perfil do solo.

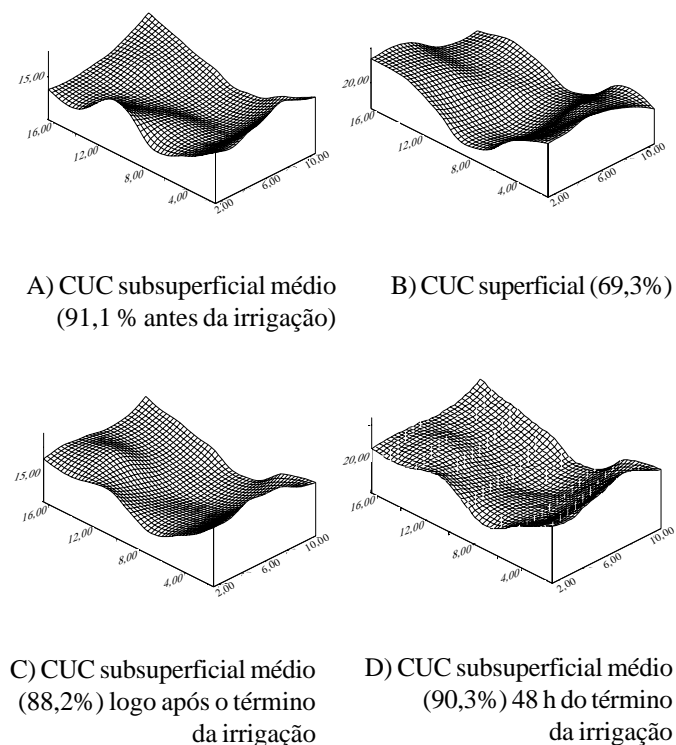


Figura 3. Uniformidade de distribuição superficial e subsuperficial da água (aspersores espaçados de 12 x 18 m)

Esses resultados estão de acordo com os observados por Paiva (1980), Rezende (1992) e Li & Kawano (1996) mostrando que a água no perfil do solo é melhor distribuída que a aplicada na superfície por um sistema de irrigação por aspersão.

Considerando-se que as plantas absorvem praticamente toda a água de que necessitam, através de seu sistema radicular, tais resultados evidenciam que o efeito da uniformidade de aplicação da água na superfície do solo não é tão importante como inicialmente suposto. A redistribuição da água dos pontos de maior para os de menor potencial energético total, reduz os efeitos da desuniformidade de aplicação da água na superfície do solo.

Os valores dos coeficientes de uniformidade no perfil do solo e nos níveis e momentos preestabelecidos em todos os testes, sempre se apresentaram acima dos valores que, por convenção, são considerados mínimos aceitáveis para as uniformidades de distribuição superficiais. Se esses critérios adotados para as distribuições superficiais forem aplicáveis às distribuições subsuperficiais, os sistemas de irrigação por aspersão, avaliados apenas por medidas de superfície, podem estar subestimando a sua eficiência de irrigação e propiciando um manejo que não seja o mais econômico possível.

Vale ressaltar, porém, que em regiões áridas e semi-áridas, como a região Nordeste do Brasil, onde a irrigação é de fundamental importância na produção agrícola, baixos valores de uniformidade de aplicação de água na superfície do solo, principalmente em solos leves, podem resultar em elevadas perdas de água por percolação profunda.

#### Estudo comparativo dos coeficientes de uniformidade avaliados

A Figura 4 apresenta o comportamento dos coeficientes de uniformidade avaliados e sua variação com o tempo, nas distribuições médias no perfil do solo, referentes ao Teste I. Observou-se que os coeficientes CUE, CUH e UDH seguiram as mesmas tendências de CUC e CUD, sendo que os valores de CUD e UDH foram sempre menores que os valores dos coeficientes CUC, CUE e CUH.

Relacionando-se CUC e CUD, Rezende (1992) afirma que o fato de 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 a CUC, pela expressão:

$$CUD = 100 - 1,59(100 - CUC).$$

Segundo Hart (1961) quando as lâminas de irrigação têm distribuição normal,  $CUD = UDH$ .

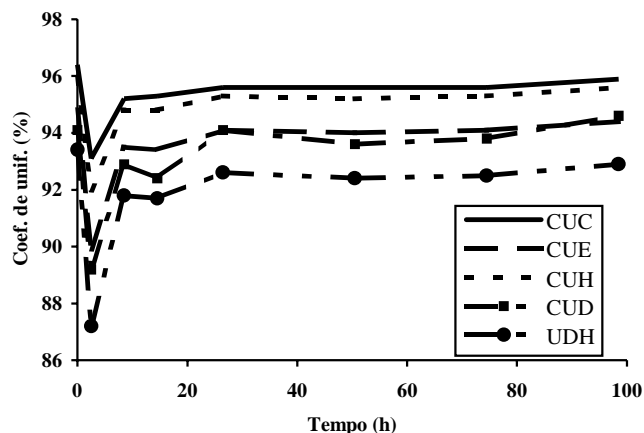


Figura 4. Variação dos coeficientes de uniformidade com o tempo, no perfil do solo, para o teste I

A Tabela 4 apresenta os dados dos parâmetros média, desvio-padrão e coeficiente de variação, empregados na análise comparativa entre os coeficientes de uniformidade avaliados. Observaram-se, nas distribuições subsuperficiais, valores médios para os coeficientes variando entre 85,0 e 94,9%, com baixos valores de desvio-padrão ( $\sigma_{n-1} = 1,2$  a 3,7%) e de coeficientes de variação ( $CV = 1,3$  a 4,3%) mostrando que os mesmos podem ser usados indistintamente na avaliação do desempenho da irrigação no perfil do solo. O mesmo não ocorreu na avaliação superficial, onde se observaram valores médios de coeficientes entre 62,5 e 71,8%, com maiores valores de desvio-padrão ( $\sigma_{n-1} = 6,0$  a 7,9%) e de coeficientes de variação ( $CV = 8,3$  a 12,6%) o que mostra que a escolha incorreta do coeficiente pode afetar a interpretação dos resultados e influenciar negativamente nas decisões a serem tomadas. Esses resultados diferem dos obtidos por Sales (1997).

Tabela 4. Amplitude dos parâmetros média aritmética ( $x_{md}$ ), desvio-padrão ( $\sigma_{n-1}$ ) e coeficiente de variação (CV), observados na análise conjunta entre os coeficientes de uniformidade CUC, CUE, CUH, CUD e UDH

Distribuição	Parâmetro		
	$X_{md}$	$\sigma_{n-1}$ %	CV
Superficial	62,5 – 71,8	6,0 – 7,9	8,3 – 12,6
Subsuperficial*			
AI	86,5 – 94,9	1,2 – 3,4	1,3 – 3,9
DI	85,0 – 90,3	2,3 – 3,7	2,6 – 4,2
6 h	85,8 – 93,6	1,4 – 3,6	1,5 – 4,2
12 h	86,0 – 93,5	1,5 – 3,7	1,6 – 4,3
24 h	86,1 – 94,3	1,2 – 3,3	1,3 – 3,8
48 h	87,5 – 94,2	1,3 – 3,3	1,4 – 3,7

\* AI Antes de irrigação; DI Depois de irrigação

## CONCLUSÕES

A análise dos resultados da redistribuição no perfil do solo da água aplicada na superfície por um sistema de irrigação por aspersão convencional, nas condições em que o experimento foi realizado, permitiu concluir que:

1. A água no perfil do solo é mais uniformemente distribuída se comparada com os níveis de distribuição na superfície do solo. Quanto à sua distribuição no perfil do solo, maiores variações foram observadas na camada superficial.

2. Os elevados índices encontrados para os coeficientes de uniformidade no perfil do solo, mesmo nos testes onde os coeficientes de uniformidade de água aplicada na superfície foram aquém dos valores mínimos recomendados, mostram que a uniformidade subsuperficial pouco depende da uniformidade superficial. A baixa uniformidade de aplicação da água na superfície do solo provocou, logo após a irrigação, redução nos coeficientes de uniformidade subsuperficiais encontrados antes da irrigação, os quais voltaram a aumentar com o passar do tempo e tenderam para valores próximo aos encontrados antes da irrigação.

3. Os coeficientes de uniformidade de distribuição da água avaliados podem ser usados indistintamente na análise de desempenho subsuperficial de um sistema de irrigação por aspersão convencional, onde se observaram baixos coeficientes de variação, o mesmo não ocorrendo na análise superficial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 647 p.
- 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
- FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3
- GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 1994. 344p.
- HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.42, n.7, p.354-355, 1961.
- HART, W.E. Subsurface distribution of nonuniformly applied surface waters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.15, n. 4, p.656-661, 666, 1972.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 615p.
- LI, J.; KAWANO, H. The areal distribution of soil moisture under sprinkler irrigation. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.32, p. 29-36, 1996.
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.
- PAIVA, J.B.D. de. **Uniformidade de aplicação de água abaixo da superfície do solo utilizando-se irrigação por aspersão**. São Carlos: EESC/USP, 1980. 333p. Dissertação Mestrado.
- REZENDE, R. **Desempenho de um sistema de irrigação pivô-central quanto à uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1992. 86p. Dissertação Mestrado
- RODRIGUES, L.N.; MELLO, J.L.P.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Coeficientes de uniformidade: sensibilidade a mudanças nos fatores operacionais. **Irriga**, Botucatu. v.2, n.2, p.90-99, 1997.
- SALES, J.C. **Avaliação de coeficientes de uniformidade de distribuição e perdas de água por aspersão convencional**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1997. 68p. Dissertação Mestrado.
- SANTOS, J.R.M. dos. Irrigar é preciso. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v.18, n.3. p.29-34, 1998.
- WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, v.27, n.11, p.565-583, 1947.