

# Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo

Roberto Rezende<sup>1\*</sup>, Antônio Carlos Andrade Gonçalves<sup>1</sup>, Paulo Sérgio Lourenço de Freitas<sup>1</sup>, José Antônio Frizzone<sup>2</sup>, Cássio Antônio Tormena<sup>1</sup> e Altair Bertonha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência.

**RESUMO.** A uniformidade de aplicação de água na superfície do solo tem sido usada para caracterizar a qualidade de irrigações. Uma vez que a planta retira água do volume de solo no qual o seu sistema radicular se encontra, pode-se supor que a uniformidade de distribuição da água no perfil do solo seja mais importante que na superfície. Esse trabalho teve como objetivo estudar os efeitos de diferentes aplicações de água na superfície do solo, sobre uniformidade da umidade, no perfil do mesmo. Foram feitas aplicações de água na superfície do solo com quatro valores de uniformidades, aplicando-se a mesma lâmina. A umidade no perfil do solo foi obtida em vários pontos, tornando possível analisar o efeito da redistribuição na uniformidade de umidade do solo. Verificou-se que a uniformidade da umidade no perfil do solo, embora dependente da uniformidade de aplicação na superfície, foi consideravelmente maior que esta, nas condições estudadas.

**Palavras-chave:** irrigação, uniformidade, umidade.

**ABSTRACT.** Effects of irrigation uniformity on soil water content uniformity.

Irrigation quality has been expressed by uniformity coefficients, obtained from irrigation water depths, measured above soil surface. Since, plants extract water from the soil around their root system, water content uniformity in the soil profile, explored by roots, may be more important to achieve crop yield uniformity than that measured above soil surface. Effects of irrigation uniformity, measured above soil surface, on soil water content uniformity, were studied in current research. Four levels of irrigation uniformity were employed, with the same mean water depth. Soil water content was measured in the area among four sprinklers. Values were used to quantify soil water uniformity by statistical uniformity coefficients. Although soil water uniformity depends on irrigation uniformity, it was greater than that obtained above soil surface, in all treatments.

**Key words:** irrigation, uniformity, soil moisture.

## Introdução

Devido à necessidade de conservação do recurso água, à competitividade pela água, ao custo da energia, ao custo de insumos e à estabilização dos preços dos produtos agrícolas, os sistemas de irrigação e os métodos de manejo de água devem proporcionar uma aplicação de água uniforme e eficiente.

A uniformidade de aplicação de água se encontra atualmente entre os poucos parâmetros de desempenho de irrigação, que muitos especialistas na área consideram importantes para a averiguação do desempenho de irrigação. O termo uniformidade é aplicado aos parâmetros de desempenho associados

à variabilidade da lâmina de água ao longo da superfície do terreno irrigado.

Ao longo de algumas décadas, pesquisadores propuseram diferentes coeficientes para expressar a uniformidade da lâmina aplicada, com base em observações pontuais. O coeficiente de Christiansen (CUC), desenvolvido por Christiansen (1942), foi o primeiro índice proposto, sendo o mais utilizado para quantificação da uniformidade na distribuição da água em irrigação por aspersão convencional.

Outra medida de uniformidade utilizada é a razão entre a média de 25% dos menores valores de lâminas de irrigação e a lâmina média aplicada na superfície do solo. Sua origem é creditada ao SCS-USDA, por quem é denominada de eficiência padrão. Kruse (1978) denominou-a de uniformidade

de distribuição, mas é também conhecido por coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

Conforme Frizzone (1992), o coeficiente de uniformidade de distribuição de água é uma medida freqüentemente utilizada como indicador dos problemas de distribuição da irrigação. Um baixo valor de CUD indica perda excessiva de água por percolação profunda, se a lâmina mínima aplicada corresponde à lâmina necessária. Os valores de CUD são, geralmente, menores que os valores de CUC.

Depois que Christiansen (1942) propôs seu coeficiente para caracterizar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão, muitos outros coeficientes foram apresentados. Nenhum deles, porém, foi suficientemente completo, de forma a possibilitar a substituição, apresentando vantagens sobre o coeficiente anteriormente proposto. Normalmente, CUD é utilizado apenas como um indicador quantitativo da uniformidade de distribuição da água, sem um significado físico. Ben-Asher e Ayars (1990), em um estudo teórico, prognosticaram o impacto da desuniformidade nas perdas de água por percolação. Segundo esses autores, com o decréscimo do CUC, maior é a quantidade de água percolada para uma dada aplicação de água.

Em relação à distribuição de água no solo, sabe-se que quando cessa a chuva ou a irrigação e a reserva de água na superfície do solo se esgota, o movimento de água ao longo do perfil persiste por mais tempo, com a água movendo-se para camadas mais profundas, principalmente sob influência do potencial gravitacional. Esse fenômeno pós-infiltração é denominado de redistribuição e se caracteriza por aumentar a umidade de camadas mais profundas a expensas da água contida nas camadas superficiais, inicialmente umedecidas (Reichardt, 1996).

Diferentes pesquisas têm mostrado a importância da redistribuição de água no solo em relação à distribuição da água na superfície com os equipamentos de irrigação.

A aplicação desuniforme de água ao solo cria gradientes de tensões que provocam o movimento da água de pontos de menores tensões para pontos de maiores tensões. Portanto, há uma redistribuição de água dentro do solo e conseqüentemente uma uniformização da distribuição de umidade.

Hart e Reynolds (1965), estudando a influência de diversas variáveis de irrigação na redistribuição da água no perfil do solo, concluíram que a avaliação de sistemas de aspersão pelas medidas obtidas na superfície subestima a sua uniformidade, sendo,

portanto, inadequada, se o objetivo do projeto é implantar um sistema mais econômico.

Perrens (1984), em trabalho de pesquisa, concluiu que a intensidade de redistribuição da água no solo está inteiramente relacionada com a textura do solo. Avaliando a uniformidade de umidade a 50 cm de profundidade, durante o processo de redistribuição da água no solo, para um período de dois dias, a uniformidade aumentou de 60% para 73% em um solo do tipo areno-siltoso.

Paiva (1980), analisando o efeito da uniformidade de distribuição de água aplicada na superfície do solo pelo sistema de aspersão convencional, sobre a uniformidade de redistribuição de água no perfil do solo concluiu que, ao longo do tempo, após o fim da irrigação, houve um aumento nos coeficientes de uniformidade, em todas as profundidades estudadas. E também mesmo nos ensaios onde a uniformidade de água aplicada na superfície foi muito baixa, em curtos espaços de tempo os coeficientes de uniformidade de umidade alcançaram altos valores.

Penaforte (1992) e Rezende et al. (1993) acrescentam que as maiores variações de uniformidade ocorrem nas camadas superiores. Os mesmos autores afirmaram que para baixas uniformidades de aplicação, em curtos espaços de tempo, a uniformidade da umidade alcança valores altos.

## Material e métodos

Na área experimental de irrigação do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, no município de Maringá, Estado do Paraná, localizada geograficamente a 23°25' de Latitude sul e a 51°57' de Longitude oeste, com altitude média de 542 metros, foi conduzido o presente trabalho.

O clima predominante é do tipo Cfa, mesotérmico úmido com chuvas abundantes no verão e inverno seco, com precipitação média anual de 1500 mm. Nos meses de dezembro e janeiro concentram-se os maiores índices de precipitação e nos meses de julho e agosto os menores. A temperatura média anual é de 16,7°C, sendo que a média das mínimas alcança 10,3°C e a média das máximas atinge 33,6°C. O valor médio da umidade relativa do ar é igual a 66%.

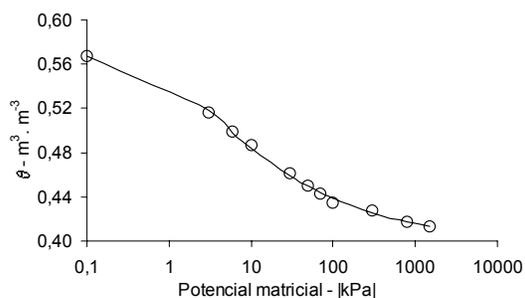
O solo da área experimental foi classificado como NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico com horizonte A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia (Embrapa, 1984). O relevo da área experimental é considerado homogêneo, com

suave ondulação apresentando declividade média de 6%.

A análise granulométrica e a determinação da densidade do solo foram realizadas com amostras de solo em doze repetições, representando as camadas de 0-15 cm; 15-30 cm; 30-45 cm de profundidade. As amostras foram retiradas em locais distintos dentro da área utilizada para a realização dos ensaios. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, com auxílio de anéis de alumínio de 5cm de diâmetro e 3 cm de altura. Os resultados dessas análises são mostrados na Tabela 1. A curva de retenção de água no solo é apresentada na Figura 1. A capacidade de campo foi considerada como sendo o conteúdo de água retido a 6kPa (Souza e Reichardt, 1996).

**Tabela 1.** Análise granulométrica e densidade do solo

Camada (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ )
0-15	87	9	4	1,23
15-30	85	11	4	1,28
30-45	78	16	6	1,34



**Figura 1.** Curva de retenção de água no solo

O sistema de irrigação por aspersão utilizado para cada nível de uniformidade adotado (cenário) foi composto de cinco linhas laterais adjacentes, com cinco aspersores por linha, funcionando simultaneamente à mesma pressão.

Os aspersores utilizados foram da marca Fabrimar, modelo A 232 ECO, bocais 5,6 x 3,2 mm. Em cada cenário funcionavam simultaneamente 25 aspersores, sendo suas características operacionais apresentadas na Tabela 2, destacando-se que os mesmos não funcionaram em condições recomendadas em catálogo do fabricante.

Nas linhas laterais foram usados tubos de PVC de 50 mm de diâmetro. Os comprimentos das linhas laterais foram de 54, 78, 78 e 102 m, respectivamente, para os espaçamentos de 12 x 12 m; 18 x 18 m; 18 x 24 m e 24 x 24 m entre aspersores.

As ligações entre os tubos e os aspersores (tubo de elevação) foram feitas com tubos de PVC de 25 mm de diâmetro e 0,6m de comprimento. Nestes tubos foram instalados registros de gavetas e manômetros de "Bourdon", para controle da pressão em cada aspersor. As linhas principais constituíram-se de tubos de PVC de 75 mm, com diferentes comprimentos em função da localização do ensaio na área experimental.

Os quatro espaçamentos entre aspersores serão denominados neste trabalho de cenários, sendo o cenário 1 correspondente ao espaçamento entre aspersores de 12 x 12 m e os cenários 2, 3 e 4 correspondentes, respectivamente, aos espaçamentos de 18 x 18 m, 18 x 24 m e 24 x 24 m.

**Tabela 2.** Características do aspersor, bocais, pressão de serviço (P.S.), vazão (Q.), diâmetro molhado (D.M.), espaçamento (E.) e intensidade de aplicação ( $I_a$ )

Bocais (mm)	P.S. (mca)	Q. ( $m^3/h$ )	D.M. (m)	E. (m)	$I_a$ ( $mm/h$ )
	30	2,52	28	12x12	17,50
5,6 x 3,2	30	2,52	28	18x18	7,78
	25	2,36	25	18x24	5,46
	25	2,36	25	24x24	4,10

Trabalhou-se com quatro espaçamentos entre aspersores, com a finalidade de obter altos e baixos coeficientes de uniformidade de distribuição na superfície do solo, possibilitando a comparação com coeficientes de uniformidade de umidade abaixo da superfície. Os efeitos dos diferentes níveis de uniformidade sobre as variáveis de produção e de crescimento da cultura do feijoeiro foram também avaliados.

As irrigações foram realizadas tendo como base a média das leituras de tensiômetros instalados nas parcelas experimentais, nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, utilizando como limite os valores de umidade nas tensões de 0,05MPa. Em todos os cenários foi aplicada a mesma lâmina bruta de água, em todas as irrigações, igual a 12 mm. Conseqüentemente, foram necessários diferentes tempos de irrigação para cada cenário.

As obtenções dos dados referentes às irrigações foram feitas em todas as irrigações necessárias, mas foram utilizados dados referentes a quinze irrigações apenas, uma vez que ocorreram chuvas após as demais. Durante todo o ciclo da cultura foram realizadas dezenove irrigações somando-se 228 mm aplicados.

As possíveis influências do ambiente na uniformidade de aplicação de água foram verificadas por meio da caracterização das condições ambientais. Para isso, dados climáticos de velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura foram obtidos

próximo da área dos ensaios, no posto meteorológico do Centro Técnico de Irrigação. A umidade relativa do ar foi obtida por meio de um termohigrógrafo. A velocidade do vento foi medida por meio de um anemômetro de conchas totalizador, instalado a dois metros de altura em relação à superfície do solo. As leituras desse instrumento foram feitas a cada 15 minutos durante a realização dos ensaios, obtendo-se assim a velocidade média do vento para cada ensaio. Também foi utilizado um par de termômetros graduados a cada 0,2°C, com a finalidade de caracterizar as condições de temperatura.

Para a obtenção dos dados necessários aos cálculos dos parâmetros estatísticos que caracterizam a distribuição de água do sistema de irrigação, foram medidas as precipitações com o uso de pluviômetros dispostos em malhas de 3 x 3 m, nas áreas compreendidas entre os nove aspersores centrais, nos quatro cenários utilizados. Para cada um dos cenários foram realizadas quatro amostragens. Em cada amostragem considerou-se a área compreendida entre quatro aspersores. Em cada cenário, o número de quadrículas de 3 x 3 m era diferente. Para os cenários 1, 2, 3 e 4, o número de quadrículas foi de 16, 36, 48 e 64 quadrículas, respectivamente. Os pluviômetros tinham 0,10 m de diâmetro, e foram fixados em hastes metálicas, a uma altura de 0,40 m da superfície do solo.

A determinação da uniformidade de distribuição da água abaixo da superfície do solo foi realizada a partir de medidas de umidade obtidas na profundidade de 0,30 m, em dois pontos, situados a 0,30 m de cada pluviômetro, perfazendo duas repetições. As coletas das amostras de solo foram realizadas antes de cada uma das irrigações e também vinte e quatro horas após o final das mesmas. A umidade foi determinada pelo método gravimétrico.

Para descrever a uniformidade de irrigação e da umidade, foram usados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) expresso pela equação 1 e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) expresso pela equação 2, comumente usados em irrigação.

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_m|}{nX_m} \right] \quad (1)$$

em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

n - número de coletores na área entre quatro emissores;

$X_i$  - lâmina de água coletada no i-ésimo coletor, em mm;

$X_m$  - valor médio das lâminas de água coletadas, em mm.

$$CUD = \frac{X_{25}}{X_m} 100 \quad (2)$$

em que:

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, em %

$X_{25}$  - média de 25% do total de pluviômetros, com menores lâminas, em mm.

O cálculo dos coeficientes para umidade do solo foi feito considerando-se, na equação 1, n como sendo o número de pontos amostrados,  $X_i$  sendo a umidade no i-ésimo ponto e  $X_m$  o valor médio dos valores de umidade, expressa em termos percentuais. Na equação 2,  $X_{25}$  corresponde à média dos 25% menores valores de umidade do solo.

Quanto à análise dos dados, os valores de lâminas de água aplicada, umidade do solo, coeficientes de uniformidade, foram comparados entre tratamentos (cenários) por meio de análise de variância e teste de comparação de médias, usando o software estatístico SAS (Statistical Analysis System). Com o propósito de avaliar o atendimento à hipótese assumida para as distribuições dos dados, foram estimados os parâmetros da estatística descritiva, para todos os conjuntos de dados obtidos. O ajuste dos dados à distribuição normal foi avaliado com o uso do teste de Kolmogorov-Smirnov, conforme apresentado por Campos (1983).

## Resultados e discussão

As condições climáticas reinantes durante os ensaios realizados, válidas para os quatro cenários, foram relativamente estáveis, não sendo possível detectar seus efeitos sobre os coeficientes de uniformidade obtidos. O valor médio da velocidade do vento foi igual a 0,62 m/s, com coeficiente de variação (Cv) de 8,0%. A umidade relativa média foi de 58%, com Cv de 16,4% e a temperatura média foi de 20,6°C, com Cv de 18,6%. Com base nestes valores, pode-se verificar que o vento, fator que mais tende a influenciar o padrão de irrigação, apresentou valores baixos de velocidade, não comprometendo a qualidade da irrigação realizada. Os outros dois fatores, na medida que não variaram muito entre irrigações, tenderam a influenciá-las de modo

semelhante. A evaporação, medida em oito coletores dispostos próximos à área experimental, foi nula. Este fato pode ser explicado em função dos horários nos quais foram realizadas as irrigações, ou seja, no amanhecer dos dias, quando a incidência de ventos é menor na região.

A média dos 15 valores de umidade obtidos em cada ponto de amostragem foi obtida e as estatísticas descritivas para os mesmos, antes e depois das irrigações, são apresentadas na Tabela 3.

A redistribuição da água no solo, durante as 24 horas após cada irrigação, promove a uniformidade da umidade dentro da área irrigada. Os valores de Cv para umidade são expressivamente menores que os de lâmina, evidenciando a uniformização que a redistribuição de água promove, como pode ser observado comparando-se os valores de Cv para umidade e para irrigações. No cenário 4, esta uniformização da umidade após a irrigação também ocorre mas o valor de Cv correspondente permanece elevado (25,8%), em decorrência da maior desuniformidade da irrigação neste cenário.

Os valores médios de umidade do solo antes das irrigações são semelhantes para os quatro cenários entre si. Comportamento semelhante é observado para umidade média 24 horas após as irrigações. No cenário 1, a uniformidade da irrigação é muito elevada. Isto faz com que a umidade do solo após as irrigações apresentasse coeficiente de variação de apenas 1,5%, com distribuição normal dos valores, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, em nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Estatísticas descritivas para umidade média do solo (%), base massa, antes e após as irrigações, média ( $\bar{X}$ ), mediana (Md), desvio padrão (s), coeficiente de variação (Cv) e "d" do teste de Kolmogorov-Smirnov (d)

	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
Obs.	64	64	144	144	192	192	256	256
$\bar{X}$	36,3	41,2	36,1	41,3	36,4	41,0	36,0	39,7
Md	36,8	41,3	36,4	41,3	36,6	41,2	36,3	43,8
S	1,5	0,6	1,8	1,3	1,9	1,9	2,1	10,2
Cv	4,0	1,5	4,9	3,1	5,3	4,7	5,9	25,8
D	0,22	0,08	0,16	0,06	0,09	0,09	0,09	0,19
d crítico(*)	0,17	0,17	0,11	0,11	0,10	0,10	0,08	0,08

(\*) Aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov

Entre duas irrigações consecutivas, o processo de retirada de água do solo contribui para a redução da uniformidade da umidade, o que é evidenciado pelo Cv igual a 4,0%, na Tabela 3. Os valores de umidade antes das irrigações não apresentaram distribuição normal, em função da forte concentração dos valores

em torno da média. Comportamento semelhante ocorre no cenário 2, nos outros cenários as distribuições se aproximam da normalidade.

Na medida que o espaçamento entre aspersores cresce, os valores de Cv para umidade após as irrigações aumentam. Os valores de Cv para umidade antes das irrigações também crescem na medida que se aumenta o espaçamento entre aspersores. Este crescimento, no entanto, é menos acentuado que o observado para umidades após as irrigações, mostrando que a redistribuição e o consumo diferenciado de água tendem a uniformizar a umidade do solo.

No cenário 4, a elevada desuniformidade da irrigação promoveu a desuniformidade da umidade do solo, expressa por valor de Cv igual a 25,8%, na Tabela 3. A redistribuição de água no solo nas primeiras 24 horas após a irrigação não é suficiente para uniformizar a umidade do solo, como ocorre nos outros cenários. Durante o período entre irrigações neste cenário, no entanto, a redistribuição e o consumo diferenciado promoveram substancial aumento da uniformidade da umidade, dando origem a Cv de 5,9% para umidade antes das irrigações (Tabela 3). Além disto, a distribuição da umidade antes da irrigação, aproximou-se da normalidade, enquanto após a irrigação, em função dos valores nulos de lâmina aplicada em boa parte da área, a distribuição se afasta da normal.

Para os quatro cenários, o valor de Cv de umidade antes da irrigação fica entre 4,0 e 5,9, o que está relacionado com a variabilidade espacial intrínseca ao solo. No cenário 1, a alta uniformidade expressa por Cv de 1,5% após a irrigação, foi reduzida entre irrigações. Por outro lado, no cenário 4, a baixa uniformidade expressa por Cv de 25,8% após a irrigação, foi modificada no período entre irrigações, uma vez que a umidade neste período se tornou mais uniforme, o que foi expresso pelo Cv de 5,9%.

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios, para 15 irrigações, dos coeficientes de uniformidade determinados acima (lâmina) e abaixo (umidade antes e depois de cada irrigação) da superfície do solo, para os quatro cenários. Nesta tabela, pode-se observar que a variação dos coeficientes de uniformidade de Christiansen para lâminas ( $CUC_L$ ), entre as irrigações, é pequena, em todos os cenários, o que é expresso por valores de coeficientes de variação inferiores a 2%. Isto mostra que o padrão de aplicação de água pouco se alterou com o passar do tempo.

**Tabela 4.** Valores médios dos coeficientes de uniformidade determinados para lâmina ( $CUC_L$ ,  $CUD_L$ ) e para umidade do solo antes ( $CUC_{UA}$ ,  $CUD_{UA}$ ) e depois da irrigação ( $CUC_{UD}$ ,  $CUD_{UD}$ ), média ( $\bar{X}$ ), desvio padrão (s) e coeficiente de variação (Cv) para os quatro cenários

Coef	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3			Cenário 4		
	$\bar{X}$	S	Cv									
$CUC_L$	94,1a	0,69	0,7	85,6b	1,39	1,6	65,6c	1,15	1,8	57,9d	0,53	0,9
$CUC_{UA}$	96,5a	0,49	0,5	96,0b	0,53	0,6	95,8c	0,68	0,7	96,2b	0,60	0,6
$CUC_{UD}$	96,7a	0,49	0,5	92,4b	0,65	0,7	85,3c	0,77	0,9	75,6d	0,74	0,6
$CUD_L$	91,0a	1,10	1,2	78,7b	2,18	2,8	46,2c	1,82	3,9	23,6d	0,70	3,0
$CUD_{UA}$	94,6a	0,34	0,4	92,9c	0,60	0,6	93,3b	0,49	0,5	92,6c	0,68	0,7
$CUD_{UD}$	94,7a	0,81	0,9	87,9b	1,09	1,2	75,0c	1,19	1,6	60,0d	0,42	0,7

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

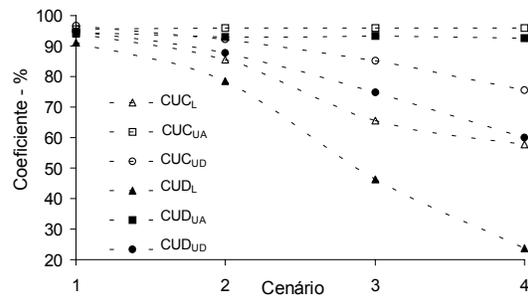
Os valores médios do coeficiente de uniformidade de Christiansen, obtidos para os dados de lâmina aplicada ( $CUC_L$ ), para os cenários 1 e 2, são superiores ao valor mínimo aceitável citado em literatura (80%), para o desempenho normal do sistema de aspersão. O mesmo não ocorre para os cenários 3 e 4, cujos valores de  $CUC_L$  são inferiores ao valor aceitável. Os valores médios de  $CUC_L$  diminuem com o aumento do espaçamento entre aspersores, sendo as diferenças entre cenários significativas pelo teste de Tukey, para  $\alpha = 5\%$ . Estes coeficientes confirmam as diferentes qualidades das irrigações, estabelecidas entre cenários.

De acordo com a Tabela 4, todos os valores dos dois coeficientes de uniformidade determinados para umidade do solo, após a aplicação de água e antes da irrigação seguinte, foram superiores aos determinados para lâmina aplicada. Este fato está relacionado com a redistribuição de água no solo e com o consumo diferenciado de água pelas plantas. A redistribuição, ou seja, a tendência da água se movimentar de regiões mais úmidas para aquelas de menor umidade promoveu, após certo tempo, maior uniformidade da umidade, em relação à lâmina de água aplicada.

Os valores de CUC e de CUD calculados para umidade do solo antes da irrigação ( $CUC_{UA}$  e  $CUD_{UA}$ ) apresentam pequena variação entre cenários. Suas variações em cada cenário foram pequenas, o que é expresso por valores de coeficientes de variação (Cv) inferiores a 0,7%. Na Tabela 4 pode-se verificar que as diferenças de valores médios do  $CUC_{UA}$  entre os cenários 2 e 4 não são significativas mas diferem do cenário 3, o qual também difere do cenário 1. As mesmas variações podem ser verificadas para  $CUD_{UA}$ .

Com o propósito de tornar melhor a visualização do comportamento das variáveis apresentadas, entre os cenários, foram traçadas as linhas pontilhadas mostradas na Figura 2. Nessa Figura, pode-se observar que estes dois coeficientes ( $CUC_{UA}$  e

$CUD_{UA}$ ) assumem valores elevados, acima de 92% em todos os casos. Embora estatisticamente significativas, as diferenças entre cenários não são importantes em termos práticos. Este fato mostra que a ação conjunta de dois fatores, a redistribuição e o consumo diferenciado de água pelas plantas, conduz à alta uniformidade da umidade do solo, ao longo do tempo, entre duas irrigações sucessivas. Mesmo neste caso, os valores de  $CUD_{UD}$  são ainda ligeiramente inferiores aos de  $CUC_{UD}$ , como esperado (Figura 2). A diferença entre eles, para os quatro cenários, no entanto, é pequena, evidenciando que as regiões que recebem pouca ou nenhuma água via irrigação, devem receber o aporte de uma certa quantidade de água via redistribuição, de forma a uniformizar a umidade em toda a área.



**Figura 2.** Valores dos coeficientes para lâminas e umidades

A Figura 2 permite verificar que os valores de CUD são sempre menores que os de CUC. Os dois coeficientes calculados a partir dos dados de lâmina são menores que os calculados com os dados de umidade 24 horas após a irrigação. A umidade do solo apresenta uniformidade, expressa pelos dois coeficientes, maior que a uniformidade da lâmina aplicada e a diferença de valores entre os dois coeficientes diminui. Durante o intervalo entre irrigações, a uniformidade da umidade do solo cresce, atingindo níveis elevados, expressos pelos dois coeficientes. A diferença entre ambos diminui, evidenciando a ação dos dois fatores: redistribuição e

consumo diferenciado de água. A irregularidade na aplicação de água, embora suavizada no perfil do solo, promove irregularidade na umidade abaixo da superfície, a qual tende a se reduzir com o passar do tempo.

### Conclusão

A uniformidade da umidade do solo, embora dependente da uniformidade da lâmina aplicada, foi consideravelmente maior que esta, nas condições estudadas. A qualidade da irrigação interferiu na uniformidade da umidade do solo.

### Referências

- BEN-ASHER, J.; AYARS, J.E. Deep seepage under nonuniform sprinkler irrigation. I. Theory. *J. Irrig. Drainage ASCE*, New York, v.116, n.3, p.354-362, 1990.
- CAMPOS, H. *Estatística experimental não-paramétrica*. 4 ed. Piracicaba: Esalq, Departamento de Matemática e Estatística, 1983.
- CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: University of California, 1942. (California Agricultural Experimental Station. Bulletin, 670).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Boletim Técnico nº 57*. Curitiba: Embrapa, 1984, 791p.
- FRIZZONE, J.A. *Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência*. Piracicaba: Esalq, Departamento de Engenharia Rural, 1992. (Série Didática, 3)
- HART, W.E.; REYNOLDS, W.N. Analytical design of sprinkler systems. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.9, n.1, p.83-85, 1965.
- KRUSE, E.G. Describing irrigation efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drainage Division. ASCE*, New York, 104(IR1): 35-41, 1978.
- PAIVA, J.B.D. *Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão*. 1980. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1980.
- PENAFORTE, A. B. *Análise da performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional, acima e abaixo da superfície do solo*. 1992. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.
- PERRENS, S.J. Numerical analysis of soil water uniformity under sprinkler irrigation. *J. Agric. Eng. Res.*, London, v.30, p.23-27, 1984.
- REICHARDT, K.; *Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas*. Piracicaba: Esalq, Departamento de Física e Meteorologia, 1996.
- REZENDE, R. *et al.* Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto à uniformidade de distribuição de água abaixo e acima da superfície do solo. *Eng. Agric.*, Viçosa, v.2, n.19, p.1-7, 1993.
- SOUZA, L.D.; REICHARDT, K. Estimativa da capacidade de campo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.20, p.183-189, 1996.

Received on June 18, 2002.

Accepted on September 12, 2002.