

VARIAÇÃO ENTRE A LÂMINA DE IRRIGAÇÃO APLICADA E ARMAZENADA NO SOLO SOB CONDIÇÕES DE IRRIGAÇÃO COM BAIXA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

JOÃO LUIS ZOCOLER¹; MAIRA ELIZA ROQUE ORSI²; RONALDO CINTRA LIMA³ E RICARDO ANTÔNIO FERREIRA RODRIGUES⁴

¹Engenheiro Agrônomo, Prof. Adjunto, UNESP/Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Av. Brasil, 56 – CEP: 15385-000 – Ilha Solteira (SP), zocoler@agr.feis.unesp.br

²Engenheira Agrônoma, Graduada na UNESP/Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, mairaorsi@yahoo.com.br

³Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia – Sistemas de Produção na UNESP/Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, rclima@agr.feis.unesp.br

⁴Engenheiro Agrônomo, Prof. Adjunto, UNESP/Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, ricardo@agr.feis.unesp.br

1 RESUMO

Em irrigação por aspersão é importante se ter uma boa uniformidade de aplicação para que a água na zona radicular não apresente áreas com pouca disponibilidade hídrica enquanto outras apresentem percolação além do sistema radicular da cultura, mesmo sabendo que o solo permite redistribuição lateral da água. Uma maneira usual de se obter a uniformidade da lâmina de irrigação é por medidas de dispersão, expressando-a de forma adimensional pela comparação com um valor médio. O objetivo deste trabalho foi avaliar a uniformidade de armazenamento de água em um solo de textura arenosa antes e após a aplicação de uma lâmina desuniforme de irrigação por aspersão, bem como a variação do armazenamento, utilizando uma sonda de nêutrons para monitoramento da camada de 0 a 0,45 m. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo que para a variável coeficiente de uniformidade de Christiansen modificado (CUC_{HH}) foram 10 tratamentos (a lâmina superficial, 8 intervalos de leituras do armazenamento, mais o existente antes da irrigação somado à lâmina aplicada na superfície, denominado potencial). Para a variável armazenamento de água no solo, os tratamentos foram os mesmos excetuando-se a lâmina superficial. Apesar da baixa uniformidade superficial promovida pela aspersão (16,3%), não houve diferença significativa entre a uniformidade do armazenamento antes da irrigação, após a irrigação e a uniformidade potencial, contudo houve entre estas e a uniformidade superficial. Da lâmina aplicada na superfície, 15,3 mm, somente 6,1 mm permaneceu na camada de 0 a 0,45 m. Não houve diferença significativa do armazenamento da água no solo antes e após a irrigação num período de até 134 horas, sendo que o acréscimo no armazenamento devido à irrigação foi de apenas 11,7%.

Palavras-chave: uniformidade subsuperficial, armazenamento, sonda de nêutrons.

**ZOCOLER, J. L.; ORSI, M. E. R.; LIMA, R. C.; RODRIGUES, R. A. F.
VARIATION OF THE IRRIGATION DEPTH APLIED AND STORED
IN THE SOIL UNDER IRRIGATION WITH LOW DISTRIBUTION UNIFORMITY**

2 ABSTRACT

In sprinkler irrigation is important to have a good uniformity of application so that the water in the root zone does not show areas with little available water while others have percolating beyond the plant roots, even though the soil allows a lateral redistribution of water. A usual way to obtain the uniformity of irrigation is by measures of dispersion. The aim of this work was to evaluate the uniformity of water stored in a sand soil before and after non uniformity depth irrigation applied from one sprinkler, as well the variation of storage in a 0-0,45 m layer soil using a neutron probe. The statistical design was completely randomized, and for the variable Christiansen uniformity coefficient modified (CUC_{HH}) were 10 treatments (the irrigation depth, 8 intervals of readings storage, more the existing one before irrigation added to the irrigation depth). For the variable soil water, the treatments were the same, excepting the irrigation depth. Despite the low surface uniformity (16.3%), there was not significantly difference between the storage uniformity before, after irrigation and the potential, however there was from these to the surface uniformity. From de irrigation depth, 15.3 mm, only 6.1 mm remained in the layer from 0 to 0.45 m. There was not significantly difference between the water stored in the soil before and after irrigation within a period of up to 134 hours, being the increase in storage due to irrigation was just 11.7%.

KEYWORDS: subsurface uniformity, storage, neutron probe.

3 INTRODUÇÃO

A boa eficiência de um sistema de irrigação por aspersão apresenta íntima relação com a uniformidade de aplicação da lâmina de irrigação na área. E uma maneira usual de se obter a uniformidade da lâmina de irrigação é por medidas de dispersão, expressando-a de forma adimensional pela comparação com um valor médio. Muitos coeficientes de uniformidade foram propostos desde o advento dos sistemas de aspersão, todavia nenhum foi suficientemente completo para substituir com vantagem o de Christiansen (CUC), proposto em 1942, sendo por isso o mais conhecido e largamente utilizado (Frizzone, 1992).

A uniformidade da irrigação de um sistema de aspersão convencional pode ser melhorada se a redistribuição de água abaixo do solo for considerada, como diz Tooyamani et al. (1987). Uma redistribuição de água horizontalmente em um solo é possível se nele houver maior quantidade de microporos. Hart (1972) verificou que depois de dois dias a uniformidade de distribuição que na superfície que era de 60%, passou para 86% no subsolo após a redistribuição. Paiva (1980) também verificou o efeito da redistribuição de água no solo irrigado por um sistema de aspersão convencional concluindo que mesmo onde a irrigação foi desuniforme, em curtos intervalos de tempo a uniformidade de umidade do solo alcançou altos valores.

Rocha et al. (1999) também verificaram esse comportamento da uniformidade subsuperficial, sendo que os valores do CUC na superfície nos três testes foram 74,8, 69,3 e 78,0%. Após a irrigação, os valores do CUC subsuperficial foram sempre superiores a 85,6%,

chegando a 96,4%. Uma análise do trabalho de Rocha et al. (1999) em relação à lâmina média de irrigação coletada nos testes I, II e III (30,0; 24,1 e 23,1 mm, respectivamente) e à medida com a sonda de nêutrons logo após a irrigação, utilizando-se os valores médios de umidade para a camada de 0 a 0,50 m, permite verificar que a sonda subestimou a lâmina de água aplicada em 9,5; 9,1 e 9,6 mm, respectivamente, ou seja, dos 30,0 mm de água coletada no caso do teste I, somente foram medidos 20,5 mm pela sonda. Este mesmo raciocínio é válido para os outros dois testes. Em termos percentuais, a sonda subestimou a lâmina aplicada em 32, 38 e 42% para os testes I, II e III respectivamente.

Vanzela et al. (2002) compararam os valores do CUC obtidos acima da superfície do solo com os valores medidos abaixo da superfície do solo, através do uso de uma sonda de nêutrons, num sistema de irrigação por aspersão convencional com cinco espaçamentos diferentes entre aspersores. Verificaram que tanto acima como abaixo do solo, a uniformidade decresceu à medida que os espaçamentos entre aspersores cresceram, porém menos intensamente abaixo da superfície.

Tendo em vista a importância da uniformidade no interior do solo quando submetido a uma irrigação, Rodrigues et al. (2001) avaliaram a uniformidade de distribuição de água, tanto acima como no interior do solo, através dos coeficientes CUD e CUC, em um pivô central operando em condições de campo. Acima da superfície, a uniformidade foi obtida seguindo-se a metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No solo a uniformidade foi calculada utilizando-se a umidade determinada pelo TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo). Os autores encontraram CUC = 78% e CUD = 67% na superfície e CUC = 89% e CUD = 86% no solo, relatando que houve redistribuição da água e que o uso da técnica de medição de umidade no solo, através do equipamento TDR, foi adequada, podendo ser usada em trabalhos de campo desta natureza.

Silva et al. (2005) avaliaram o potencial mátrico de um Argissolo vermelho-escuro em função da distribuição de água na sua superfície. Após o funcionamento do aspersor realizou-se o monitoramento da distribuição da água no perfil, nas profundidades de 0,10; 0,20 e 0,40 m, com uso de dez baterias de tensiômetros. Avaliou-se também a lâmina de água que atingiu a superfície do solo, por meio de pluviômetros. A variabilidade na taxa de aplicação da lâmina de água influenciou sua redistribuição no interior do solo, conforme se distanciou do aspersor; nas extremidades da área de alcance do aspersor, o potencial mátrico foi menor, confirmando menor conteúdo de água no solo e menor capacidade de redistribuição interna no perfil.

A utilização da sonda de nêutrons para medir a umidade volumétrica é uma prática antiga. Apresenta como vantagens o fato de possibilitar boa precisão, fornecer o resultado no momento e possibilitar medidas repetidas no mesmo local, integrando um volume de solo ou do meio onde está sendo efetuada a determinação. Como desvantagens citam-se o alto custo do equipamento, necessidade de calibração e cuidados na operação devido aos elementos radioativos. O princípio básico de utilização do equipamento é que há uma correlação estreita entre a quantidade de nêutrons moderados a ser medida no aparelho e a quantidade de hidrogênio presente no solo, sendo este um bom moderador de nêutrons (Bernardo et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a uniformidade de armazenamento de água no solo antes e após a aplicação de uma lâmina desuniforme de irrigação por aspersão, bem como a variação da lâmina armazenada, utilizando uma sonda de nêutrons para monitoramento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual “Júlio de Mesquita”, campus de Ilha Solteira, localizada à margem esquerda do Rio Paraná, (“Pomar”), com localização geográfica a 21° 22’ S de latitude e a 51° 22’ W de longitude, com altitude de 335 m.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura média anual de 24,5°C, precipitação média anual de 1.232 mm e uma umidade relativa média anual de 64,8% (Hernandez et al., 1995).

O solo do local é classificado como ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico, conforme nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 1994). A análise granulométrica do solo, mostrada na Tabela 1, o classifica como arenoso conforme o triângulo de classes texturais da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. A velocidade de infiltração básica do solo, medida pelo método dos anéis concêntricos, foi 220 mm h⁻¹.

Tabela 1. Propriedades físicas do solo

Profundidade e (cm)	Areia Total (%)	Argila (%)	Silte (%)	Textura	Densidade e Aparente (g cm ⁻³)	Porosidade (cm ³ cm ⁻³)
00 – 15	85,5	10,5	4,0	Arenosa	1,51	0,407
15 – 30	84,5	11,0	4,5	Arenosa	1,47	0,423
30 – 45	82,0	14,5	3,5	Arenosa	1,50	0,412

Utilizando-se parcialmente os dados de potencial mátrico e umidade volumétrica obtidos por Lopez (2000) no local e aplicando-os no Programa SWRC – Soil Water Retention Curve, versão 2.03, foram calculados os coeficientes da equação da curva de retenção de água no solo, sendo utilizado o método manual para a umidade de saturação e a regressão para a umidade residual:

$$\theta = 0,073 + \frac{0,334}{\left[1 + |0,063946 \cdot \phi_m|^{1,5737}\right]^{0,3645}} \quad (1)$$

Sendo: θ - umidade volumétrica do solo (m³ m⁻³);

ϕ_m – potencial mátrico do solo (cmca – centímetros de coluna de água).

Segundo Reichardt (1987), é comum considerar -330 cmca (às vezes -100 cmca para solos arenosos) o potencial mátrico na capacidade de campo e -15.000 cmca o potencial mátrico no ponto de murcha permanente. Neste trabalho foram assumidos potenciais mátricos de -100 e -330 cmca na capacidade de campo, sendo assim calculadas lâminas de água armazenadas de 84 e 59 mm, respectivamente, para a camada de 0 a 0,45 m de profundidade. Por sua vez, considerando-se -15.000 cmca o potencial mátrico no ponto de murcha permanente a lâmina de água armazenada na referida camada seria 36 mm. Com isso, a capacidade de água disponível para as plantas seria de 48 mm se fosse considerada a capacidade de campo de 84 mm (potencial mátrico de -100 cmca) e 23 mm se fosse considerada a capacidade de campo de 59 mm (potencial mátrico de -330 cmca).

A sonda de nêutrons utilizada neste trabalho foi da marca CNP modelo 503 DR, tendo sido calibrada para as profundidades de 0,15, 0,30 e 0,45 m no local próximo à área irrigada, cujas equações de calibração e coeficientes de ajustes foram respectivamente:

$$\theta = 0,0034.CR + 11,142 \quad (R^2 = 0,6754) \quad (2)$$

$$\theta = 0,0040.CR + 0,012 \quad (R^2 = 0,8238) \quad (3)$$

$$\theta = 0,0028.CR + 2,067 \quad (R^2 = 0,8157) \quad (4)$$

Sendo: CR – contagem relativa obtida na sonda de nêutrons.

A lâmina de irrigação foi aplicada na área experimental por um aspersor marca Agropolo, modelo NY 30 ER longo verde, bocais de diâmetro nominal 5,0 x 4,6 mm, sendo posicionado 0,65 m acima do solo e operando na pressão de 215,6 kPa, medida com um manômetro de Bourdon marca Wika. Neste nível de pressão sua vazão é 2,28 m³ h⁻¹, tendo um diâmetro de alcance do jato de 30,0 m e altura máxima de 3,6 m. Foram distribuídas radialmente ao aspersor três linhas de coletores e tubos de acesso. Cada linha de coletores/tubos de acesso foi composta de dez unidades distantes 1,5 m entre si, sendo essa distância também utilizada entre o aspersor e o primeiro coletor e tubo de acesso (Figura 1). Os tubos de acesso inseridos no solo são de PVC, com 55 mm de diâmetro e 0,85 m de comprimento, sendo inseridos 0,55 m no perfil do solo ao lado de cada coletor.

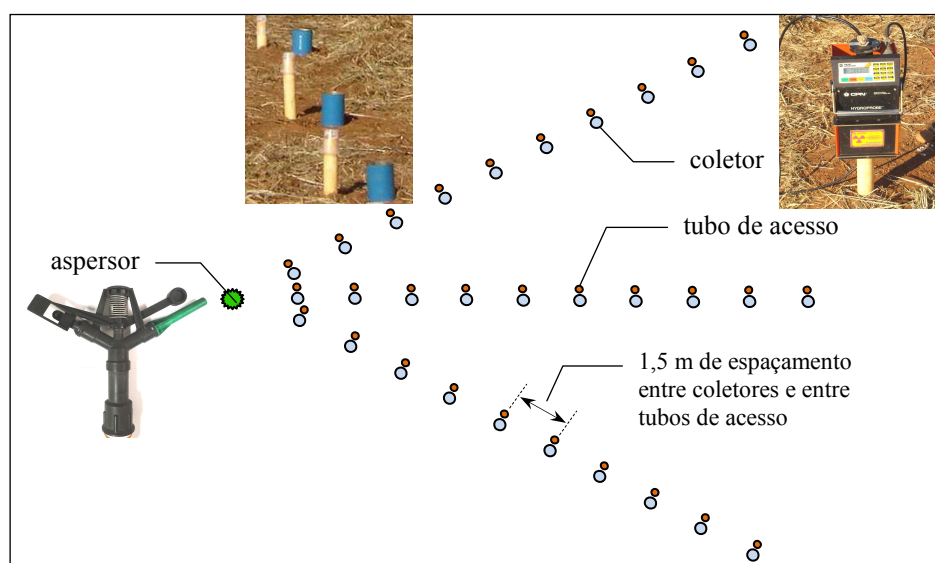


Figura 1. Esquema das linhas de coletores, tubos de acesso e aspersor do ensaio.

A umidade do solo foi monitorada do dia 4 ao dia 9 de julho de 2008. As leituras foram realizadas nos seguintes intervalos: 1^a leitura: antes da irrigação (dia 4/7/2008 às 9 horas); 2^a leitura: logo após a irrigação (dia 4/7/2008 às 17 horas); 3^a leitura: 14 h após a irrigação (dia 5/7/2008 às 7 horas); 4^a leitura 38 h após a irrigação (dia 6/7/2008 às 7 horas); 5^a leitura: 62 h após a irrigação (dia 7/7/2008 às 7 horas); 6^a leitura: 86 h após a irrigação (dia 8/7/2008 às 7 horas); 7^a leitura: 110 h após a irrigação (dia 9/7/2008 às 7 horas); 8^a leitura: 134 h após a irrigação (dia 10/7/2008 às 7 horas). A irrigação foi realizada no período de

10:00 às 17:00 horas, do dia 04/07/2008, totalizando sete horas de irrigação. O círculo irrigado pelo aspersionador teve uma lâmina média ponderada de 15,3 mm. Os dados climáticos do período do experimento são apresentados na Tabela 2, sendo os mesmos obtidos numa estação climatológica distante aproximadamente 100 m do local do ensaio, com coordenadas geográficas de 20°25'16" Sul e 51°20'43" Oeste e altitude de 335 metros em relação ao nível do mar. Cabe ressaltar que não ocorreram chuvas durante o experimento e que no período de 1/5/2008 a 3/7/2008 as chuvas superiores a 1 mm foram: 5,8 mm em 1/5/2008; 13,7 mm em 2/5/2008; 22,6 mm em 16/5/2008; 35,8 mm em 29/5/2008; e 2,8 mm em 15/6/2008, perfazendo um total de 80,7 mm. As chuvas inferiores a 1 mm nos dois meses antecedentes foram cinco, perfazendo um total de 2,2 mm. Portanto, no total, foram 82,9 mm de chuvas num período de 64 dias anteriores ao início o experimento. Na Figura 2 são mostradas as chuvas mensais acumuladas do ano de 2008, que perfizeram um total de 1726,3 mm.

Tabela 2. Dados climáticos do período do experimento (4 a 10/7/2008)

Dia	Temperatura °C			Umidade Relativa do Ar %			Pressão Atm kPa	Rad. Global MJ/m ² .dia	Rad. Líquida MJ/m ² .dia	Flx de calor μmol es /m ²	PAR μmol es /m ²	Ev-TCA mm/dia	ETo PN-M mm/dia	ETo TCA mm/dia	Velocidade do vento (m/s)		Direção vento °	Chuva mm	Insolação h/dia
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.									Máx.	Média			
04	21,0	29,6	13,1	58,0	95,2	25,2	97,9	15,0	7,7	-0,4	181,4	5,5	2,8	3,4	4,6	0,8	36,7	0,0	8,0
05	21,7	29,0	12,8	50,3	91,2	20,9	97,8	16,0	7,5	-0,2	188,5	7,6	3,4	4,4	4,9	1,7	36,0	0,0	9,0
06	22,9	30,3	14,1	50,1	76,9	31,9	97,8	15,9	8,3	0,0	189,6	6,6	3,7	4,1	5,4	1,6	42,3	0,0	8,9
07	23,7	30,1	16,5	50,1	77,7	27,3	97,9	14,4	7,6	0,1	173,7	6,7	3,5	4,1	5,7	1,4	42,6	0,0	7,3
08	22,8	30,0	15,0	50,5	84,1	25,5	97,8	16,6	8,5	-0,1	195,6	5,1	3,5	3,1	6,4	1,2	45,1	0,0	9,6
09	21,7	28,6	14,2	49,2	88,3	20,4	97,9	16,5	7,8	-0,2	194,3	6,8	3,4	4,0	5,2	1,4	47,3	0,0	9,6
10	20,5	27,5	14,3	49,7	73,0	24,7	98,1	17,0	7,5	-0,2	195,5	7,6	3,7	4,6	5,6	1,8	40,8	0,0	10,1

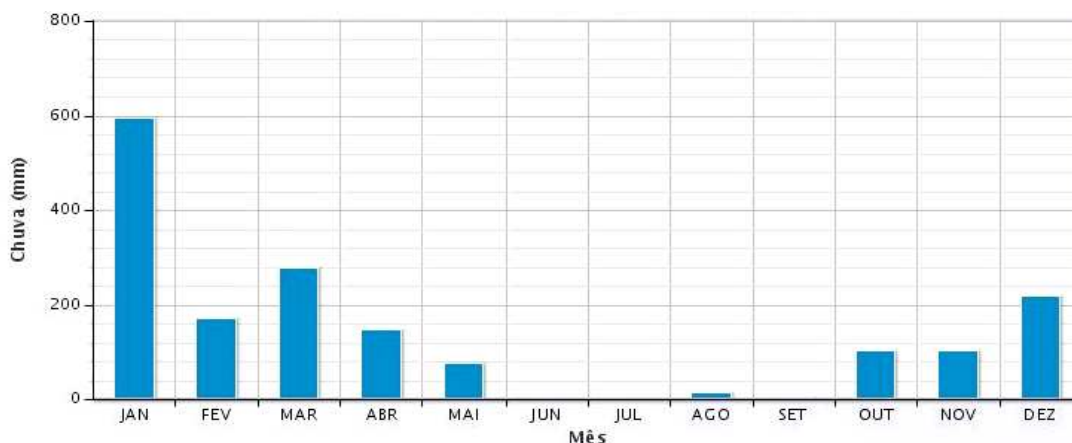


Figura 2. Chuvas mensais acumuladas no ano de 2008 (Fonte: Área de Hidráulica e Irrigação/UNESP – Campus de Ilha Solteira-SP).

Com as leituras e as equações de ajuste da sonda foram obtidas as umidades volumétricas e, conseqüentemente, os armazenamentos de água no solo nas camadas monitoradas. Sendo assim, nas avaliações foram consideradas: a lâmina já existente antes da irrigação, a existente com a incorporação da irrigação e a existente antes da irrigação somada à lâmina aplicada na superfície, denominada potencial, consistindo uma base de comparação mais ponderada que aquela que simplesmente é feita entre a superfície e a umidade do solo.

Em seguida, calculou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen modificado por Heermann & Hein (1968), conforme a Equação (5), tanto na superfície (dados obtidos nos coletores), como na subsuperfície (lâminas armazenadas) nas camadas monitoradas. Finalmente, efetuou-se a análise de variância, seguida do teste de Tukey para o armazenamento e uniformidade na camada total (0-0,45 m).

$$CUC_{HH} = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot |Y_i - Y_p|}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot Y_i} \right] \quad (5)$$

Sendo: S_i – distância do aspersor ao i-ésimo coletor ou tubo de acesso (m);
 Y_i – lâmina medida no i-ésimo coletor ou tubo de acesso (mm);
 Y_p – lâmina média ponderada, calculada pela seguinte equação:

$$Y_p = \left[\frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right] \quad (6)$$

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições (linhas de coletores ou tubos de acesso no caso do armazenamento). Para a avaliação da variável coeficiente de uniformidade de (CUC_{HH}) os tratamentos foram oito intervalos de leitura do armazenamento (antes da irrigação; logo após a irrigação; 14 h após; 38 h após; 62 h após; 86 h após; 110 h após; e 134 h após), mais o potencial (leitura antes da irrigação somada à lâmina aplicada na superfície: Antes + LS) e a lâmina superficial (LS), totalizando 10 tratamentos. Para a variável lâmina armazenada no solo, os tratamentos foram os mesmos da variável anterior excetuando-se a lâmina superficial. A análise estatística foi aplicada no perfil total monitorado (0 – 0,45 m), com base nas medições feitas nas três profundidades.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira leitura da água armazenada no solo (0 a 0,45 m) antes da irrigação e as lâminas coletadas nos pluviômetros das três linhas estão apresentadas na Tabela 3. Também são mostrados os coeficientes de uniformidade de Christiansen modificados (CUC_{HH}) que foram calculados a partir destas medidas. Conforme pode ser visto, as lâminas aplicadas na superfície foram reduzindo acentuadamente à medida que se distanciava do aspersor, fato proposital no ensaio para a obtenção de baixa uniformidade de distribuição superficial. Verifica-se que o CUC_{HH} foi muito baixo em cada linha, especialmente na linha 3, pois sem haver sobreposição de aspersores, o círculo irrigado fica com grandes diferenças entre as lâminas próximas ao aspersor e as distantes, o que evidencia a necessidade da sobreposição numa irrigação normal. Também se pode observar que o solo antes da irrigação apresentava um armazenamento de 52,3 mm, que correspondia a 62% da capacidade de campo considerando o critério de potencial mátrico de -100 cmca; e 89% da capacidade de campo considerando o critério de potencial mátrico de -330 cmca. Isso significa que mesmo tendo

um período de pouca chuva antecedente ao experimento, o fato do solo ter ficado sem cobertura vegetal viva, apenas uma palhada sobre ele, contribuiu para manter o nível do armazenamento elevado, especialmente se considerar o critério de potencial mátrico de -330 cmca.

Tabela 3. Lâmina de irrigação medida nos coletores (LS – mm), lâmina de água armazenada no solo na camada de 0 a 0,45 m (Arm. antes – mm), a lâmina média ponderada (Y_p – Equação 6) e coeficiente de uniformidade de Christiansen modificado (CUC_{HH})

Distância dos coletores (m)	Linha 1		Linha 2		Linha 3		Média	
	LS	Arm. antes	LS	Arm. antes	LS	Arm. antes	LS	Arm. antes
1,5	84,0	43,2	88,2	44,4	88,8	47,2	87,0	45,0
3,0	69,5	43,8	66,2	48,4	62,9	44,2	66,0	45,4
4,5	45,3	45,1	44,6	44,9	43,9	46,9	44,6	45,7
6,0	29,5	45,1	29,9	56,1	29,7	42,6	29,7	47,9
7,5	20,0	54,1	21,0	52,3	20,4	49,4	20,5	51,9
9,0	14,6	53,1	15,3	57,6	17,8	51,3	15,9	54,0
10,5	12,7	57,7	13,4	64,7	10,7	57,9	12,3	60,1
12,0	7,8	53,1	7,0	51,2	4,6	47,1	6,5	50,5
13,5	5,1	59,4	2,7	53,9	1,7	53,8	3,1	55,7
15,0	1,2	58,2	0,6	46,8	0,0	46,6	0,6	50,5
Y_p (mm)	15,9	54,2	15,5	53,1	14,5	49,7	15,3	52,3
CUC_{HH} (%)	22,4	92,6	18,4	91,4	8,0	92,4	16,3	92,1

Conforme dados do fabricante, a lâmina total aplicada pelo aspersor nas condições de operação do experimento seria 22,6 mm. Contudo, observando a Tabela 3, a lâmina coletada, 15,3 mm, foi menor devido provavelmente a três fatores: i) Deriva devido às rajadas de vento que ocorreram durante a irrigação, embora a velocidade média do vento no dia tenha sido 0,8 m/s; ii) Evaporação elevada, que no dia foi 5,5 mm medida pelo Tanque Classe A, sendo que a irrigação ocorreu no período do dia de maior evaporação (entre 10 e 17h), sendo potencializada pela pulverização do jato que ocorre na aspersão; e iii) Variação da pressão de operação durante o período de irrigação. Embora a lâmina coletada tenha sido menor do que a obtida caso não houvessem perdas, isso não teve efeito prejudicial para o experimento, visto que tanto na superfície como no solo as avaliações foram relativas à lâmina coletada.

Considerações sobre o armazenamento da água no solo

A Tabela 4 mostra o armazenamento de água nas três camadas do solo e o total (0 a 0,45 m) nos nove tratamentos. Também podem ser vistos os coeficientes de uniformidade (CUC_{HH}) dos dez tratamentos e o resultado da análise estatística sobre essas variáveis.

Tabela 4. Armazenamento (mm), coeficiente de uniformidade (CUC_{HH} , em %) de armazenamento da água no solo e resultados da análise estatística

Leitura em relação a irrigação	Camada							
	0 – 0,15 m		0,15 – 0,30 m		0,30 – 0,45 m		0 – 0,45 m	
	Armaz. (mm)	CUC_{HH} (%)	Armaz. (mm)	CUC_{HH} (%)	Armaz. (mm)	CUC_{HH} (%)	Armaz. (mm)	CUC_{HH} (%)
Antes	22,6	92,0	14,3	87,6	15,7	92,1	52,3 b	92,1 a

Logo após	25,6	88,2	16,4	83,8	16,4	92,8	58,4 b	90,6 a
14 h após	25,5	85,7	16,5	84,8	16,6	93,5	58,6 b	91,3 a
38 h após	25,2	87,2	16,4	84,7	16,4	93,1	57,9 b	91,4 a
62 h após	25,1	86,8	16,3	87,2	16,6	93,7	57,9 b	92,1 a
86 h após	25,2	87,7	16,3	87,3	16,5	93,4	58,0 b	92,2 a
110 h após	25,1	87,9	16,1	88,0	16,4	94,0	57,5 b	92,5 a
134 h após	24,7	91,0	16,3	88,6	16,5	94,9	57,5 b	92,5 a
Antes + LS	-	-	-	-	-	-	67,6 a	81,4 a
LS	-	-	-	-	-	-	-	16,3 b

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferiram estatisticamente entre si no nível de 5% de significância.

Conforme a Tabela 4, não houve diferença significativa na lâmina de água armazenada no solo antes e após a irrigação num período de até 134 horas. O acréscimo da lâmina armazenada devido à irrigação foi de apenas 11,7%. Se toda água coletada da irrigação ficasse na camada total monitorada então haveria diferença significativa, que pode ser confirmada pelo tratamento ‘Antes + LS’ (potencial). Verifica-se que o acréscimo da lâmina armazenada no solo logo após irrigação foi de 6,1 mm (58,4 – 52,3) de um total aplicado (medido nos coletores) de 15,3 mm, ou seja, 9,3 mm do que foi aplicado não permaneceu na camada total monitorada (0 a 0,45 m).

Na Figura 3 podem ser vistos o perfil do armazenamento da água no solo antes da irrigação, logo após a irrigação, 134 horas após a irrigação, o perfil do armazenamento se toda lâmina de irrigação aplicada tivesse permanecido na camada de 0 a 0,45 m, sendo os resultados a média das três linhas de tubos de acesso. Também podem ser vistas as linhas do armazenamento máximo (capacidade de campo) nos dois potenciais mátricos considerados e a linha do armazenamento no ponto de murcha permanente.

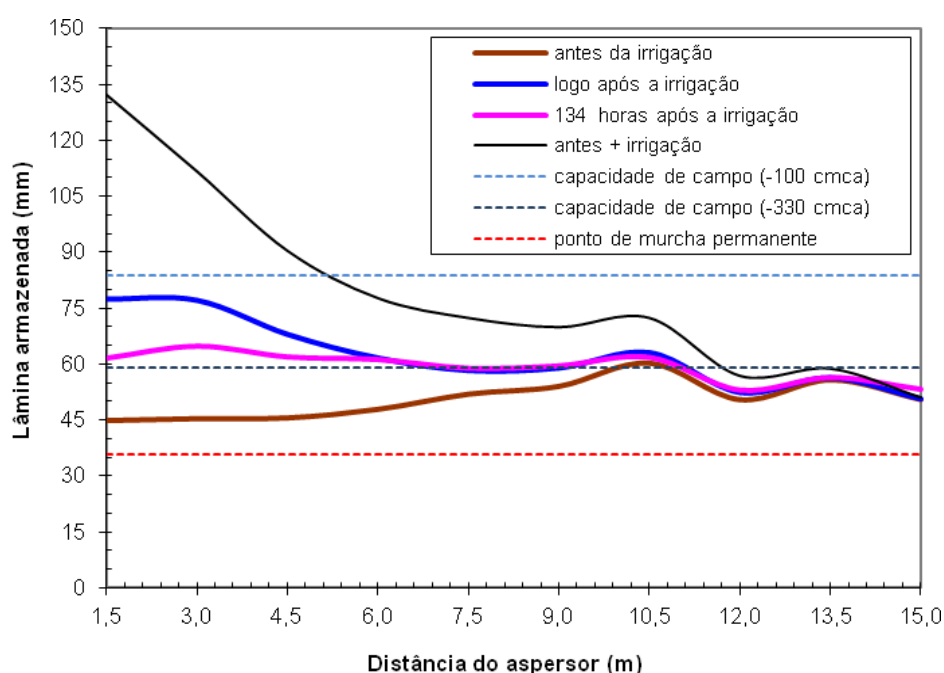


Figura 3. Perfil do armazenamento de água no solo até a profundidade de 0,45 m.

A observação da Figura 3 e da Tabela 2 permite esclarecer a razão pela qual dos 15,3 mm da irrigação aplicada superficialmente somente 6,1 mm permaneceu na camada de 0 a 0,45 m. Como a lâmina nas proximidades do aspersor é elevada, provavelmente houve percolação além da profundidade monitorada. Verifica-se que até aproximadamente 10,5 m de distância do aspersor (oitava coluna da Tabela 3) a lâmina aplicada foi maior ou igual a 12,3 mm, ou seja, isso somado à lâmina armazenada antes da irrigação, 52,3 mm, supera a capacidade de campo se for considerada a capacidade de campo de 59 mm (potencial mátrico de -330 cmca). Na Figura 3, até a distância de aproximadamente 11,5 m do aspersor, a linha preta (armazenamento antes + LS) foi superior à linha azul tracejada inferior (capacidade de campo), evidenciando a provável percolação. Embora o termo logo após a irrigação dê a impressão que o tempo para a percolação no perfil tenha sido insuficiente, vale destacar que o aspersor ficou operando por 7 horas, tempo suficiente para percolação neste solo de textura arenosa.

Além da percolação também é possível que a umidade do solo tenha sido subestimada pela sonda. Não que a sonda apresentasse defeito nos sensores de contagem, mas os valores relativamente baixos dos coeficientes de ajustes das equações 2, 3 e 4 podem ter contribuído nisso, corroborando com os resultados de Rocha et al. (1999).

Outra consideração em relação à Tabela 3 é que a diferença entre o armazenamento logo após a irrigação foi somente 0,9 mm superior àquele medido após 134 horas. Como o solo se encontrava sem vegetação, porém com cobertura morta (palhada), houve pouca perda por evaporação após a secagem da camada superficial.

Reportando novamente à Figura 3, verifica-se o perfil do armazenamento médio. A área entre a curva de armazenamento logo após a irrigação (azul) e a de 134 horas após (rosa) mostra uma diferença de cerca de 15 mm na distância 1,5 m e nula dos 6,0 m até os 15,0 m. Se considerar um valor médio, 7,5 mm, e ponderá-lo para todo o círculo irrigado, a diferença de armazenamento seria de somente 1,2 mm. Ou seja, as representações gráficas das curvas dão a ilusão de um valor maior da variação de armazenamento do que aquele que realmente ocorreu.

O perfil do armazenamento de água nas camadas do solo nas três profundidades antes da irrigação, logo após a irrigação e 134 horas depois, pode ser visto na Figura 4.

Em relação à camada 0–0,15 m (Figura 4a e Tabela 3) observa-se que a irrigação elevou o armazenamento logo após a irrigação em praticamente todo círculo irrigado, contudo muito pouco nas suas extremidades. Antes da irrigação o armazenamento era 22,6 mm, sendo elevado para 25,6 mm logo após e caindo para 24,7 mm após 134 horas, ou seja, reduziu somente 0,9 mm nesta camada, provavelmente devido à evaporação na superfície.

Em relação à camada 0,15 a 0,30 m (Figura 4b e Tabela 2) observa-se que até a distância de aproximadamente 7,5 m do aspersor a irrigação elevou bastante o armazenamento, porém, ponderando esta elevação para todo o círculo irrigado, o acréscimo foi pequeno, apenas 2,1 mm. Antes da irrigação o armazenamento era 14,3 mm, sendo elevado para 16,4 mm logo após e caindo para 16,3 mm após 134 horas, ou seja, praticamente não houve perda nesta camada.

Em relação à camada 0,30 a 0,45 m (Figura 4c e Tabela 2) observa-se que até a distância de aproximadamente 6,5 m do aspersor a irrigação elevou o armazenamento, porém, menos intensamente que na camada anterior. Contudo, a ponderação desta elevação para todo o círculo irrigado resulta num acréscimo de apenas 0,7 mm. Antes da irrigação o armazenamento era 15,7 mm, sendo elevado para 16,4 mm logo após e subindo um pouco para 16,5 mm após 134 horas, ou seja, esta camada possivelmente ainda recebeu água da anterior.

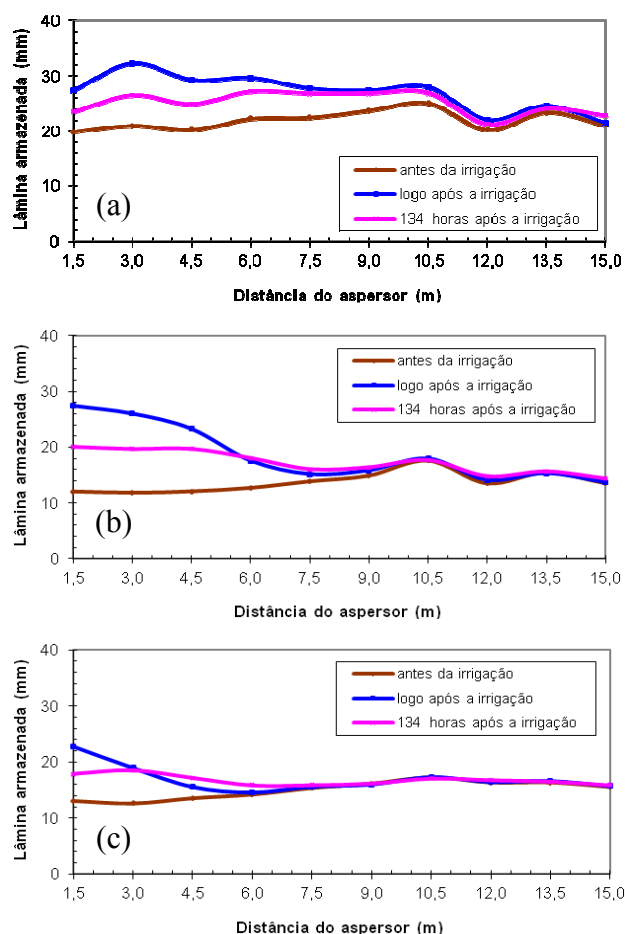


Figura 4. Perfil do armazenamento de água na camada 0 a 0,15 m (a), 0,15 a 0,30 m (b) e 0,30 a 0,45 m (c). Média das três linhas.

Considerações sobre a uniformidade de aplicação e de armazenamento

Conforme a Tabela 4 verifica-se que não houve diferença significativa entre a uniformidade antes e após a irrigação em nenhuma camada, incluindo também o tratamento ‘Antes + LS’ (potencial), ou seja, a lâmina desuniforme aplicada na superfície somada à lâmina já existente no solo também não apresentou diferença significativa no coeficiente de uniformidade de Christiansen adaptado por Heermann e Hein. Somente a lâmina superficial, que teve baixa uniformidade é que apresentou diferença significativa em relação às demais. Como a lâmina superficial correspondeu somente a 29% da lâmina armazenada no solo antes da irrigação, seu efeito não foi suficiente para proporcionar uma diferença significativa entre a uniformidade de armazenamento medida no solo e a potencial (Antes + LS). Provavelmente, se o solo estivesse mais seco essa diferença tenderia a ser significativa devido à elevada desuniformidade superficial. Tal pressuposição abre possibilidade de se avaliar em novos ensaios o efeito de níveis de umidade inicial e da lâmina aplicada sobre a uniformidade de armazenamento.

Portanto, no atual experimento, apesar de ser aplicada uma lâmina de irrigação muito desuniforme na superfície, tal efeito não foi verificado no perfil do solo, corroborando com os resultados obtidos por outros pesquisadores, como Rezende (1992), Rocha et al. (1999) e Rodrigues et al. (2001).

6 CONCLUSÕES

Conforme o propósito do trabalho pôde-se concluir que:

- i) Não houve diferença significativa na lâmina de água armazenada no solo antes e após a irrigação num período de até 134 horas, sendo que o acréscimo no armazenamento devido à irrigação foi de apenas 11,7%;
- ii) O acréscimo da lâmina armazenada no solo logo após a irrigação foi 6,1 mm de um total aplicado de 15,3 mm, ou seja, 9,3 mm do que foi aplicado percolou no perfil além de 0,45 m. O elevado armazenamento existente antes da irrigação acrescido às elevadas lâminas de irrigação nas proximidades do aspersor favoreceram a percolação;
- iii) A diferença entre o armazenamento logo após a irrigação e aquele medido após 134 horas foi somente 0,9 mm. Como o solo estava sem vegetação (apenas palhada) antes e durante o experimento isso provavelmente restringiu a perda por evaporação;
- iv) Não houve diferença significativa entre a uniformidade da lâmina armazenada antes e após a irrigação na camada total monitorada (0-0,45 m), porém houve diferença dessas em relação à uniformidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície.

7 REFERÊNCIAS

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília; DF, 1994. 412 p.
- FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ, 1992. 53p. (Séria Didática).
- HART, W. E. Subsurface distribution of nonuniformly applied surface water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 15, n. 4, p. 656-661, 666, 1972.
- HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP, FEIS, Área de Hidráulica e Irrigação, 1995. 45 p.
- HEERMANN, D. F.; HEIN, P. R. Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 11, n. 1, p. 11-15, 1968.
- LOPEZ, A. S. **Manejo da irrigação na cultura da pupunha (*Bactris gasipaes* H. B. K.) no noroeste paulista**. 2000. 12 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.
- PAIVA, J. B. D. **Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão**. São Carlos, 1980. 333 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1980.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 3, n. 2, p. 154-160, 1999.

RODRIGUES, T. R. I.; BATISTA, H. S.; CARVALHO, J. M.; GONÇALVES, A. O.; MATSURA, E. E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 187-191, 2001.

SILVA, M. M.; ALVES, M. C.; RODRIGUES, R. A. F.; FERNANDES, F. C. S. Potencial mátrico de um solo relacionado com a uniformidade de distribuição de água na sua superfície. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, ano 4, n. 8, p. 1-10, dez. 2005.

TOOYAMANI, K. P.; NORUM, D. I.; DUBETZ, S. Application rates and uniformity under center-pivot sprinkler irrigation systems using spray nozzles. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v. 29, n. 2, p. 149-154, 1987.

VANZELA, L. S.; ZOCOLER, J. L.; HERNANDEZ, F. B. T. Uniformidade de distribuição da água acima e abaixo da superfície do solo em um sistema de irrigação por aspersão convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002. 1 CD-ROM.