

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL FIXO E GOTEJAMENTO EM VILA RURAL

Eguimar Amorim Maciel de Souza; Paula Cristina de Souza; Márcio Antônio Vilas Boas

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, Pr, eguimar_souza@uol.com.br.

1 RESUMO

O manejo racional da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. É recomendável após a instalação de um sistema de irrigação, proceder-se a testes de campo, com o objetivo de se verificar a adequação da irrigação recomendando, quando necessário, ajustes na operação e, principalmente, no manejo. O propósito deste trabalho foi avaliar dois sistemas de irrigação, sendo um por aspersão convencional fixo e outro por gotejamento, implantados na Vila Rural Flor do Campo, localizada na região Noroeste do Estado do Paraná, através da determinação dos parâmetros de uniformidade e eficiência de distribuição de água. Foram utilizadas as metodologias propostas na norma ABNT NBR ISO 7749-2, Asae (1995) e por Keller & Karmeli (1975). Foram realizados trinta ensaios em cada sistema de irrigação. Para o sistema de irrigação por aspersão foi obtido CUC de 77,9%, considerado abaixo do valor mínimo aceitável de 80%, sendo que a velocidade do vento variou de 0 a 2,4 m s⁻¹. As eficiências de aplicação (E_a) e armazenagem (E_s) obtidas neste sistema foram, respectivamente, de 77,0% e 48,8%. No sistema de irrigação por gotejamento foi obtido CUC de 93,7% considerado valor excelente. A Uniformidade de Emissão (UE) encontrada foi de 89,3% sendo considerada boa. As eficiências de aplicação (E_a) e armazenagem (E_s) obtidas neste sistema foram, respectivamente, de 100% e 65,0 %.

UNITERMOS: Irrigação, aspersão convencional, gotejamento, uniformidade, eficiência, avaliação.

SOUZA, E. A. M.; SOUZA, P.C.; VILAS BOAS, M. A. PERFORMANCE EVALUATION OF FIXED CONVENTIONAL ASPERSION AND DRIPPING IRRIGATION SYSTEMS IN A RURAL VILLAGE

2 ABSTRACT

The rational handling of the irrigation consists of the application of the necessary amount of water to the plants at the correct moment. After the installation of an irrigation system, it is recommended the field tests be carried out in order to verify the adequacy of the recommended irrigation and, when necessary, to adjust the operation and, mainly, the handling. The aim of this work was to evaluate two irrigation systems, a fixed conventional aspersión system and a dripping one, installed in the Flor do Campo, a rural village located in the Northwest of Paraná state, through the determination of the parameters of water distribution uniformity and efficiency. The methodologies used were according to the ABNT

NBR ISO 7749-2 norm, Asae (1995) and for Keller & Karmeli (1975). Thirty assays in each irrigation system were tested. In the irrigation system with aspersão CUC of 77.9%, which is considered below the minimum acceptable value of 80%, was found considering that the wind speed varied from 0 to 2.4 ms⁻¹. The efficiencies of application (Ea) and storage (Es) obtained in this system were 77.0% and 48.8 %, respectively. In the dripping irrigation system, a CUC of 93.7%, considered an excellent value, was found. The EU was 89.3% and considered good. The efficiencies of application (Ea) and storage (Es) gotten in this system were 100% and 65.0 %, respectively.

KEY WORDS: Irrigation, conventional aspersão, dripping, uniformity, efficiency, evaluation.

3 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas, onde e quando as dotações pluviométricas, ou qualquer outra forma natural de abastecimento, não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas. Constitui-se numa atividade atualmente imprescindível para qualquer agricultura rentável, em quase todas as regiões e climas do nosso planeta (Gomes,1994).

A adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água é de fundamental importância para a sustentabilidade, de tal forma que se possa, economicamente, manter ao longo do tempo esses recursos com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (Wutke et al., 2000)

Keller & Bliesner (1990) comentam que é recomendável, após a instalação de um sistema de irrigação, proceder-se a testes de campo, com o objetivo de se verificar a adequação da irrigação recomendando, quando necessário, ajustes na operação e, principalmente, no manejo. Esses procedimentos visam maximizar a eficiência do sistema.

No Estado do Paraná há 405 Vilas Rurais, atendendo a aproximadamente 16.000 famílias, que habitam em lotes com área média de 5.000 m², localizados geralmente próximos a centros urbanos, com uma residência em alvenaria dotada de infra-estrutura. Estes espaços são destinados ao desenvolvimento de atividades agrícolas por parte dos vilieiros com a finalidade de produzir alimentos para a sua subsistência e se possível comercialização do excedente, aumentando assim a renda familiar.

Os moradores destas Vilas são pessoas de baixa renda, geralmente bóias frias que, sem o incentivo à produção, teriam a tendência de migrar para as cidades. Uma pequena parte destas Vilas Rurais dispõe de lotes com sistemas de irrigação, mas estes sistemas são desprovidos de qualquer estudo quanto à eficiência e são utilizados sem manejo racional da água.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho dos sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo e gotejamento empregados por produtores da Vila Rural Flor do Campo, localizada na Região Noroeste do Estado do Paraná, durante um tempo pré-determinado, através da determinação dos parâmetros de uniformidade e eficiência de distribuição de água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do Experimento

A pesquisa foi realizada no lote 18 da Vila Rural Flor do Campo, próxima da cidade de Campo Mourão – Pr, cuja localização geográfica é 24°00'36" de latitude Sul e 52°24'36" de longitude Oeste e com altitude de 542 m, no período compreendido entre o mês de março e abril de 2005.

Neste local, moram 49 famílias em lotes com área média de 5.000 m². Em cada lote, está disponibilizado um ponto para tomada de água destinada à irrigação, o que na prática, por falta de orientação técnica e/ou recursos, não é utilizado adequadamente, deixando escapar oportunidades com relação a melhoria de renda que poderia advir com a produção e comercialização de hortaliças em um grande centro consumidor.

4.2 Clima

O clima da região é classificado como Cfa: Clima subtropical úmido mesotérmico, segundo a classificação de Köppen, com verões quentes, e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida.

A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22°C e a dos meses mais frios é inferior a 18°C. A temperatura média anual está entre 20°C e 21°C.

Os índices pluviométricos apresentam-se em média entre 1.400 mm e 1.500 mm por ano, tendo nos meses de verão as maiores concentrações de chuvas e nos meses de inverno as menores.

Os ventos predominantes na região são os de quadrante nordeste, apresentando probabilidade de geadas nos meses de inverno, quando os ventos sopram de sul e sudoeste.

4.3 Descrição do sistema de abastecimento de água da Vila Rural

A água é captada em uma barragem natural que é abastecida por nascentes existentes no local, próximo ao rio km 123. O volume de água represada pela barragem é cerca de 100 m³, sendo que o volume de água excedente é desviado para o rio.

Através de um sistema de bombeamento, a água represada é conduzida a dois reservatórios elevados interligados, que estão localizados na parte mais alta da Vila Rural, a cerca de 1.400 m de distância, sendo que cada reservatório tem capacidade de 20 m³, totalizando 40 m³ de reservação. A bomba é do tipo centrífuga multiestágio, com potência 3CV monofásica.

Do reservatório, a água é conduzida por gravidade, através de tubulação de PVC de 75 mm diâmetro, abastecendo os lotes com água para irrigação. Está disponibilizado um ponto de tomada de água na parte central de cada lote.

4.4 Sistemas de irrigação do experimento no lote 18.

4.4.1 Sistema 1: irrigação por aspersão convencional fixo

O sistema por aspersão é do tipo convencional fixo, e é constituído de um reservatório semi-enterrado, com capacidade de 12 m³, no qual está instalada uma bomba monofásica tipo injetora monoestágio com potência de 0,5 CV e com rotor de 3500 rpm, que alimenta duas linhas de tubulação PVC azul engate rápido de diâmetro 50 mm espaçadas de 12 m, sendo que cada linha contém três aspersores com espaçamento de 12 m entre si.

O aspersor é da marca Agropolo modelo NY 25 1", sendo que o bocal principal, na cor laranja, tem diâmetro nominal de 3,50 mm e diâmetro equivalente de 3,38 mm. Já o bocal auxiliar, na cor cinza, tem diâmetro nominal de 2,50 mm e diâmetro equivalente de 2,17 mm. Os aspersores estão instalados em uma haste de PVC de 25 mm de diâmetro e altura de 1,00 m em relação ao solo.

4.4.2 Sistema 2: irrigação por gotejamento

O sistema de gotejamento é constituído de 8 linhas de tubos gotejadores modelo Irridrip Tape da Irrimon com diâmetro de 16 mm e comprimento 20 m. A alimentação é proveniente de um reservatório semi-enterrado com capacidade de 12 m³. As linhas são espaçadas de 0,33 m em cada canteiro e os emissores de 0,20 m.

Do reservatório, parte uma tubulação de 50 mm de diâmetro e comprimento 3 m, que contém um registro de gaveta, um filtro de disco e manômetro para controle da pressão, interligado a uma tubulação de polietileno com diâmetro 32 mm, que conduz a água até as linhas com os gotejadores.

O sistema pode funcionar tanto por bombeamento quanto por gravidade, devido ao desnível do terreno, sendo a opção por gravidade a preferencialmente utilizada por diminuir as despesas de funcionamento.

A tubulação de polietileno da marca Irrimon tem gotejador integrado a cada 20 cm, sendo do modelo Irridrip Tape de diâmetro interno 16 mm, com vazão nominal de 1,31 L h⁻¹ a 10 mca, e está disposta em 8 linhas de 20 m, sendo conectada a uma tubulação de polietileno de diâmetro 32 mm e já próxima ao reservatório, uma canalização de PVC soldável de 50 mm que contém registro de gaveta, filtro com disco de 120 mesh e manômetro.

4.5 Ensaaios

Os sistemas foram analisados em condições usuais de operação, refletindo, assim, as condições reais de manejo de irrigação. Os testes visaram a determinação dos parâmetros de uniformidade e eficiência.

Na avaliação da uniformidade de aplicação de água foram utilizadas as metodologias da ABNT NBR ISO 7749-2 (2000) para irrigação por aspersão e de Keller & Karmeli (1975), para a irrigação por gotejamento, sendo observado também as normas da Asae (1995).

A análise do desempenho de um projeto de irrigação é realizada com balanço de volumes de água aplicada, útil e perdida por percolação profunda e por evaporação no caso de aspersores.

4.5.1 Em sistemas de irrigação por aspersão

Nos sistemas de irrigação por aspersores, a uniformidade de distribuição de água foi avaliada em testes de campo, nos quais as lâminas de água foram coletadas em recipientes (pluviômetros). Os testes foram realizados por um período de tempo de 1 hora e foram feitas 30 repetições.

Os dados de temperatura, umidade relativa, direção e velocidade do vento foram obtidos através de uma estação meteorológica instalada a 18 metros dos testes, e foram registradas a cada 10 minutos de teste. As condições ambientais foram caracterizadas para se verificar as influências sobre os testes.

Em cada teste foi anotada a pressão dos aspersores 1 e 3, nos seguintes intervalos: no início, 30 min e no final do ensaio. A instalação do manômetro na haste do aspersor observou o prescrito na norma ABNT NBR ISO 7749-2 (2000),

Foram utilizados 16 coletores espaçados de 3 x 3 m. Os coletores foram colocados a 60 cm de altura, em relação à superfície do solo, e posicionados entre quatro aspersores, conforme Figura 1 a seguir.

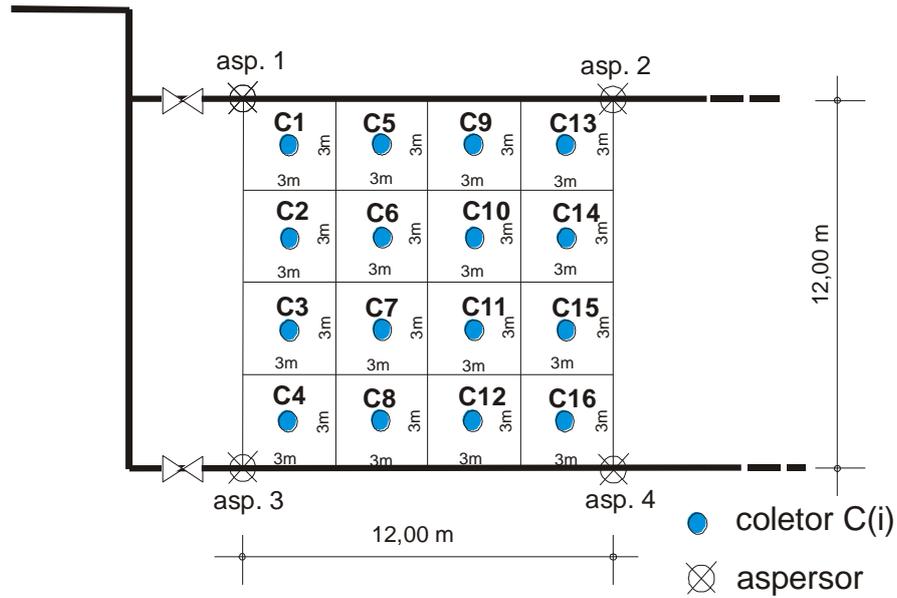


Figura 1. Posicionamento dos pluviômetros na realização dos ensaios.

A seção de coleta de cada um dos pluviômetros era de $50,24 \text{ cm}^2$. Os volumes coletados em cada um dos pluviômetros foram determinados ao final do ensaio, utilizando-se uma proveta graduada.

4.5.2 Em sistemas de irrigação por gotejamento

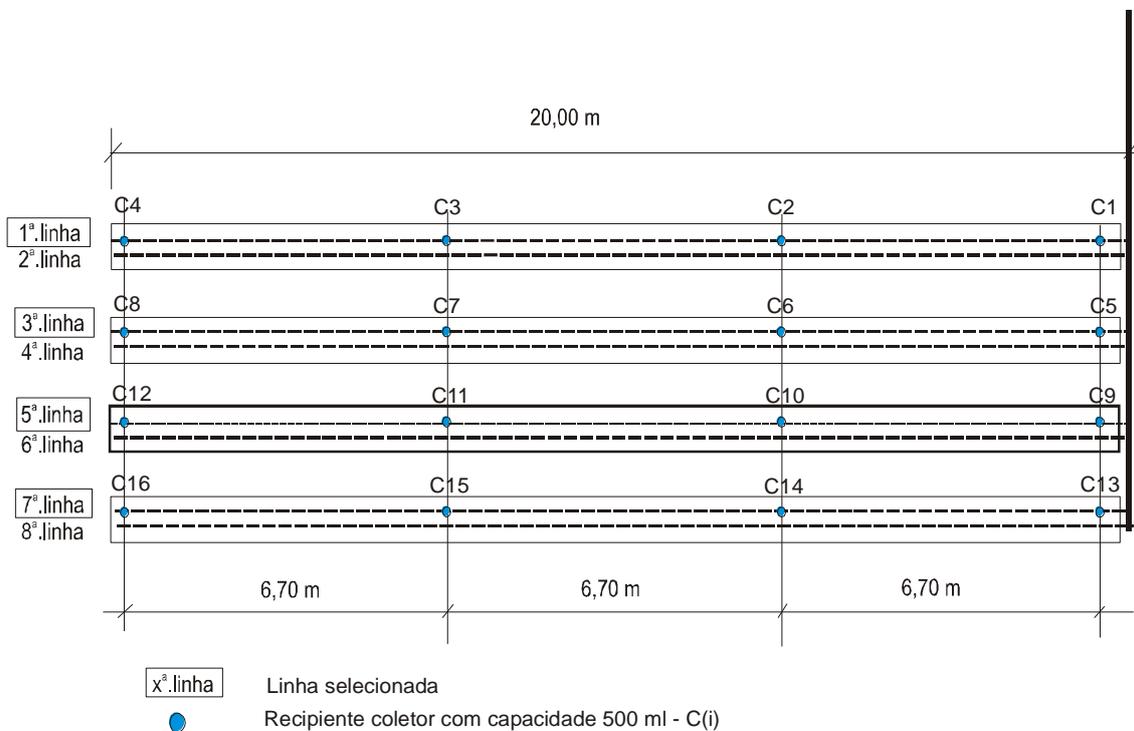


Figura 2. Posicionamento dos recipientes coletores na realização dos ensaios.

Para determinação do coeficiente de uniformidade de emissão (UE), também denominada de uniformidade de distribuição, UD de Clemmens & Solomon (1997), foi utilizado o método proposto por Keller & Karmeli (1975), que consiste em selecionar, ao longo da linha de derivação, a primeira lateral, a situada a 1/3 do comprimento, a situada a 2/3 e a última lateral. Seguindo o mesmo critério, selecionam-se 16 emissores na unidade operacional, sendo quatro em cada lateral: o primeiro situado a 1/3 do comprimento, outro a 2/3 e o último emissor. Em cada ponto de emissão é determinada a vazão do gotejador. Na Figura 2 está representada a posição do coletor.

Com as vazões dos 16 emissores foi calculado o coeficiente de uniformidade de Christiansen, para fins de comparação com o sistema de irrigação por aspersão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Elementos meteorológicos

Durante os ensaios de irrigação por aspersão, foram monitoradas a cada 10 minutos, a temperatura, a umidade relativa e a velocidade e direção do vento, através de uma estação climatológica sem fio (*wireless weather station*) referência WS 2310 da *La Crosse Technology*. Os dados foram coletados por sensores distantes 18 m do local do ensaio.

5.2 Armazenamento da água no solo

Foi realizada a análise granulométrica do solo e obtidos os pontos para a determinação da curva de retenção de água no solo (Tabela 2), sendo então retiradas amostras até a camada de profundidade da zona radicular para a cultura da alface, que foi considerada de 20 cm (Lujan, 1989 citado por Gomes, 1994).

Tabela 2. Valores de potencial matricial versus umidade

Tensão (cm c a)	Umidade (kg/kg)
10	0,636
20	0,584
40	0,450
60	0,402
80	0,364
100	0,336
300	0,274
700	0,241
1000	0,240
15000	0,239

A análise granulométrica do solo apresentou: 5% de areia grossa, 9% de areia fina, 10% de silte e 76% de argila.

O solo é classificado como Latossolo roxo de textura argilosa. Pela composição granulométrica do solo, o mesmo é classificado como sendo muito argiloso, segundo o

triângulo de classificação textural de Lemos & Santos (1996) citado por Reichardt & Timm (2004).

A densidade do solo (d_a) foi de 1,04 g/cm³, que foi determinada através da retirada de cinco amostras de solo nesta profundidade. O ensaio foi realizado pelo Laboratório de Análises Agronômicas do Integrado em Campo Mourão-Pr.

Admitindo-se a tensão na capacidade de campo igual a 8 kPa, obtemos então, o valor da umidade correspondente de 36,4 % (U_{cc}). A tensão correspondente ao ponto de murcha permanente é igual a 1.500 kPa, que corresponde à umidade de 23,9 % (U_{pm}). O fator f representa o fator disponibilidade de água no solo. Para a cultura da alface $f=35\%$ (Lujan, 1989 citado por Gomes, 1994). Substituindo os valores de U_{cc} , U_{pm} , d_a , z e f na equação (1), tem-se uma lâmina de irrigação $Y_r = 9,1$ mm, que é a lâmina líquida de irrigação.

$$Y_r = \frac{(U_{CC} - U_{PM})}{10} \cdot d_a \cdot z \cdot f \quad (1)$$

em que:

U_{CC} = umidade do solo à capacidade de campo (grama água/100 gramas de solo);

U_{PM} = umidade do solo à ponto de murchamento permanente (grama água/100 gramas de solo);

d_a = densidade aparente do solo (gramas/cm³)

z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm);

f = fator de disponibilidade d'água no solo.

5.3 Eficiência e Uniformidade de distribuição da água

5.3.1 Em Irrigação por aspersão

Foram calculados: a lâmina média coletada (Y_m), o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de uniformidade de Hart (CUH), o coeficiente de uniformidade estatística (CUE), a uniformidade de distribuição (UD), a eficiência de aplicação (E_a), a eficiência em potencial de aplicação (E_{pa}), a eficiência de armazenagem (E_s) e a eficiência de distribuição (E_d). Vide Tabela 3.

Para efeito deste trabalho, foi considerada para o cálculo dos parâmetros de eficiência que a lâmina média coletada foi a lâmina média aplicada na superfície do solo, sendo que as perdas por evaporação e deriva pelo vento calculada pela diferença entre a lâminas médias de aplicação dos aspersores e a coletada.

Também foi considerado que a água que infiltra no solo em excesso à lâmina real necessária é perdida por percolação. Na área com déficit, toda a água infiltrada é considerada armazenada para o uso das plantas.

Durante os ensaios, foi medida uma pressão de 20 mca. Para esta pressão, a vazão média medida, que foi de 0,830 L s⁻¹, se aproximou da vazão do catálogo para o aspersor que é de 0,860 L s⁻¹.

Na Tabela 3, observa-se que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) só foi superior ou igual a 80%, preconizado pela literatura como o valor mínimo aceitável, em 33% dos ensaios realizados, isto para uma variação de velocidade do vento de 0 a 1,3 m/s. Considerando todos os ensaios o valor médio do CUC foi de 77,9% , com coeficiente de variação (C_v) de 4,2 %, sendo este coeficiente considerado de baixa dispersão. A velocidade do vento variou de 0 a 2,4 m/s com valor médio de 1,2 m/s e C_v de 69,0 %, sendo considerado de alta dispersão.

O coeficiente de uniformidade estatística (CUE) encontrado foi de 70,5% com C_v de 4,8% considerado de baixa dispersão, ficando abaixo do valor mínimo aceitável de 75%.

A uniformidade de distribuição (UD) média encontrada foi de 65,6% com Cv de 8,1% considerado de baixa dispersão.

Um valor baixo de UD indica perda excessiva de água por percolação profunda, quando a lâmina mínima aplicada corresponde à lâmina de irrigação real necessária, o que não foi caso.

Segundo Merriam & Keller (1978), para culturas de alto valor econômico, com raízes pouco profundas, o sistema de irrigação mais econômico é, geralmente, aquele que proporciona UD > 80% ou CUC > 88%.

Rezende et al. (2003) afirma que UD é mais sensível aos valores extremos que o CUC e apresenta valores menores sugerindo que o UD é mais adequado para avaliação da uniformidade acima e abaixo da superfície.

A eficiência de aplicação (Ea) média foi de 77,0% com coeficiente de variação (Cv) de 9,1%. A eficiência de armazenagem (Es) média foi de 48,8% com Cv de 9,1%. Este valor demonstra que a lâmina aplicada foi inferior à lâmina real necessária, indicando que a irrigação foi deficitária.

A eficiência em potencial de aplicação (Epa) médio foi de 76,6% resultando uma perda por evaporação e deriva de vento de 23,4%.

A eficiência de distribuição (Ed) de 100% indica que não houve perda por percolação, e é um indicativo que quantidade de água aplicada foi insuficiente para atender a demanda hídrica, ou seja a lâmina requerida de irrigação.

A relação entre o CUC e a velocidade do vento está ilustrada na Figura 3, sendo que o coeficiente de determinação (R^2) foi de 74%.

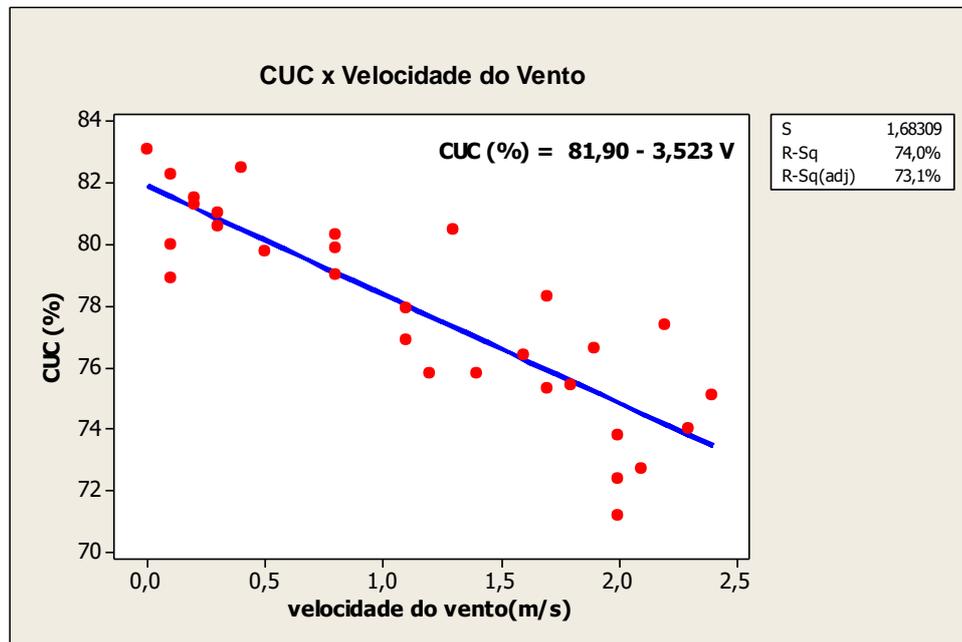


Figura 3. Gráfico que relaciona o CUC com a velocidade do vento.

Tabela 3. Resultados dos ensaios quanto à uniformidade e eficiência na irrigação por aspersão

ENSAIO	VELOC	DIREÇÃO	TEMP	UMIDADE	Ym	CUC	CUH	CUE	UD	Ea	Epa	Es	Ed
Nº	VENTO (m/s)	VENTO	(°C)	REL. (%)	(mm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	2,4	E	30,3	55	4,2	75,1	74,1	67,6	59,5	73,3	73,0	46,4	100
2	1,7	SE	31,3	46	3,9	78,3	76,4	70,4	64,8	67,2	66,9	42,6	100
3	0,5	SE	20,8	68	4,6	79,8	77,1	71,3	65,9	79,4	79,0	50,3	100
4	2,3	SE	25,8	58	3,5	74,0	71,9	64,8	59,9	61,2	60,9	38,7	100
5	0,1	SE	21,3	71	4,8	82,3	79,1	73,8	64,9	83,3	82,9	52,7	100
6	0,3	NE	26,5	65	4,2	81,0	79,8	74,7	64,6	72,9	72,5	46,2	100
7	1,9	NE	25,2	68	4,1	76,6	75,5	69,2	58,6	71,3	71,0	45,2	100
8	0,4	E	25,9	70	4,4	82,5	78,2	72,7	69,8	76,1	75,8	48,2	100
9	2	SE	29,9	56	4,1	73,8	75,2	68,9	56,7	70,7	70,4	44,8	100
10	0,1	NE	24,0	76	4,6	80,0	76,5	70,5	65,2	80,2	79,9	50,8	100
11	2,2	SE	33,9	51	4,2	77,4	78,7	73,3	69,4	72,9	72,5	46,2	100
12	1,3	NE	28,8	62	5,1	80,5	79,0	73,7	67,3	88,0	87,6	55,8	100
13	0,2	NE	24,2	85	4,8	81,3	81,0	76,2	73,3	83,3	82,9	52,7	100
14	1,1	SE	32,7	52	4,5	76,9	74,3	67,8	69,2	78,1	77,7	49,5	100
15	0,3	SE	25,6	73	4,9	80,6	77,3	71,6	69,4	85,4	85,0	54,1	100
16	0,8	SE	30,1	54	4,6	79,9	75,4	69,2	69,5	80,2	79,9	50,8	100
17	1,2	SE	31,7	53	4,4	75,8	75,7	69,6	64,4	75,5	75,5	47,8	100
18	1,4	NE	29,9	53	4,4	75,8	75,7	69,6	64,4	75,5	75,5	47,8	100
19	1,7	SE	31,0	51	4,0	75,3	74,9	68,5	58,1	69,0	68,6	43,7	100
20	1,6	SE	32,0	48	4,7	76,4	74,8	68,5	69,9	81,1	80,7	51,4	100
21	0	-	25,7	66	5,1	83,1	78,6	73,2	75,2	88,0	87,6	55,8	100
22	2	SE	35,7	31	4,0	71,2	71,7	64,5	60,6	70,5	70,1	44,6	100
23	0,8	SE	27,6	61	5,0	79,0	78,0	72,5	65,5	86,1	86,1	54,5	100
24	0,1	E	27,0	52	4,5	78,9	76,6	70,7	62,5	78,1	77,7	49,5	100
25	2	SE	36,2	31	3,7	72,4	70,7	63,3	51,9	63,8	63,5	40,4	100
26	2,1	NE	34,2	42	4,4	72,7	75,3	69,0	69,0	75,5	75,5	47,8	100
27	0,8	SE	27,3	52	4,5	80,3	81,1	76,3	71,5	78,1	77,7	49,5	100
28	1,8	NE	27,8	61	4,4	75,4	76,9	71,0	66,6	75,9	75,5	48,1	100
29	1,1	SE	32,8	57	5,1	77,9	74,1	67,5	67,0	88,5	88,1	56,0	100
30	0,2	SE	25,6	73	4,6	81,5	81,2	76,5	72,1	79,8	79,4	50,5	100
MÉDIA	1,1	-	28,7	58,0	4,4	77,9	76,5	70,5	65,6	77,0	76,6	48,7	100,0

Tarjuelo et al., concluíram que altas pressões resultam grande dispersão de CUC, e sob estas condições, o valor de CUC torna-se mais afetado por outros fatores tais como velocidade do vento, layout de irrigação, variação do vento, etc. Contudo o CUC parece ser mais estável com baixa pressão. Em dez avaliações com variação do vento, cinco deram CUC maior que 90%, em três outros o valor de CUC foi superior a 87%, e em outros dois tiveram valor de CUC maior que 75%, mas com velocidade de vento maior do que 4,3 m/s, demonstrando o efeito positivo da variação do vento (tanto em velocidade ou direção) na uniformidade.

Observa-se no gráfico da Figura 3 a correlação linear negativa entre o CUC e a velocidade do vento. No estudo de Gomide (1978) citado por Frizzone (1992), para um espaçamento de 12x12 m, evidenciou uma influência menor sobre o CUC na ação do vento, comparando-se com o gráfico da Figura 3. Então devido à baixa taxa de aplicação de água do sistema avaliado verifica-se que o mesmo é deficitário quanto à uniformidade de aplicação de água.

Através das médias coletadas nos ensaios foi feita uma simulação para obtenção do tempo de irrigação necessário que o sistema deve ser utilizado para atendimento da lâmina de irrigação necessária.

O sistema de irrigação por aspersão teria que funcionar 2,1 h para atender a demanda hídrica, sendo que o grau de adequação da irrigação será de 67%, ou seja, esta é a fração de área que recebe a quantidade de água capaz de manter a qualidade do produto e a produtividade no nível econômico desejado pelo agricultor, assim neste caso haveria um déficit hídrico em 33 % da área.

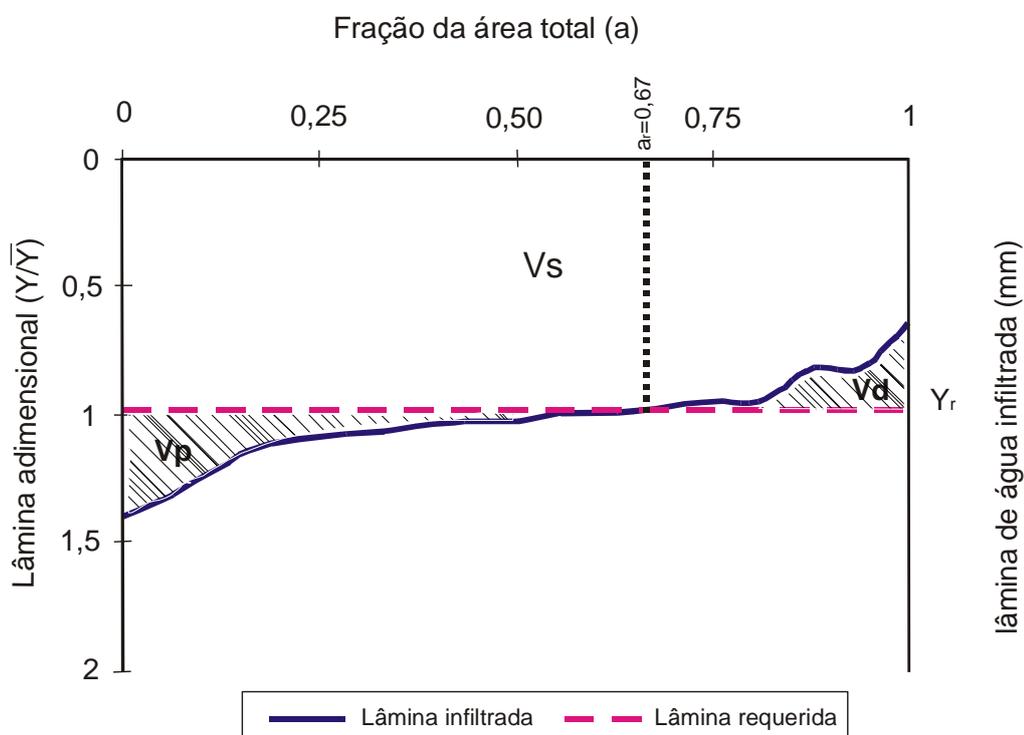


Figura 4. Perfil de infiltração de água no solo considerando-se as lâminas médias dos ensaios simuladas para o tempo de 2,1h.

Na Figura 4, está plotado o perfil de infiltração de água no solo, para o tempo simulado de 2,1 h onde V_p , V_s e V_d são respectivamente, o volume de água perdida por percolação, o volume de água armazenado na zona radicular e o volume de déficit.

Nestas condições, a lâmina média aplicada seria de 9,3 mm e o CUC de 89,1%. Já a eficiência de aplicação e a eficiência de armazenagem seriam de 71,1% e 95,3 % respectivamente.

Conforme se verifica na Figura 5, a eficiência de aplicação (E_a) e a eficiência de armazenagem (E_s) se igualam em 1,6 h e neste caso a lâmina média aplicada seria de 7 mm e não seria atingida a lâmina necessária de irrigação, sendo portanto mais indicado o tempo de 2,1 h de irrigação.

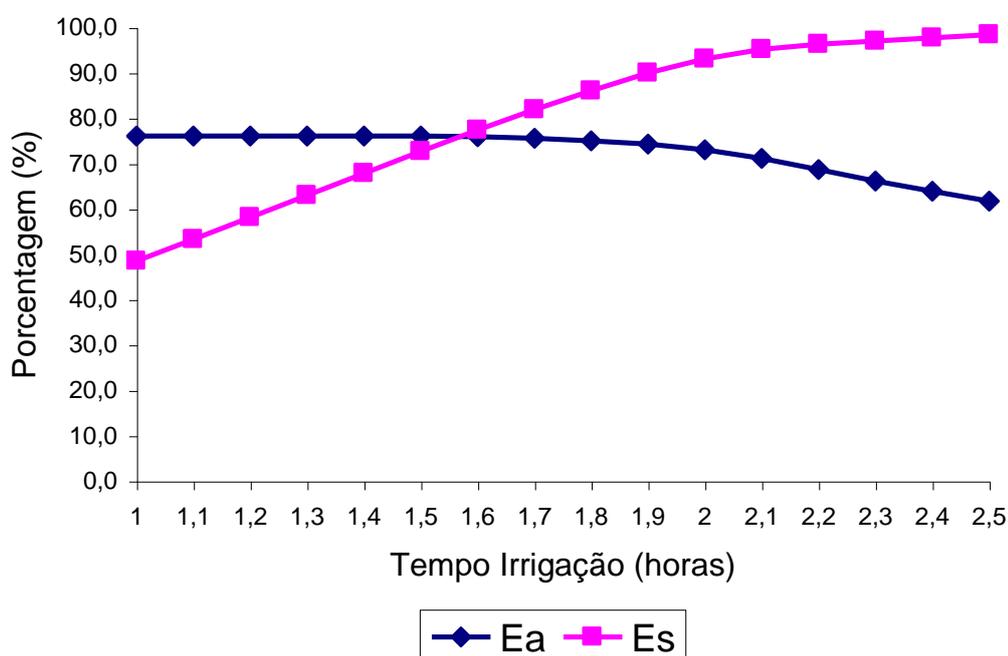


Figura 5. Simulação da eficiência de aplicação e eficiência de armazenamento com o aumento do tempo de irrigação.

4.3.2 Em irrigação por gotejamento

Os resultados dos cálculos de eficiência e uniformidade estão relacionados na Tabela 4.

De acordo com Mantovani & Ramos (1994), os valores de CUC na irrigação por gotejamento devem estar compreendidos numa faixa de 90 a 95%, portanto o valor médio obtido no ensaio, igual a 93,7% com C_v de 1,5%, é um valor bastante desejável, dentro da faixa recomendável.

O valor médio da uniformidade estatística (UE_s) foi de 92,0% , com C_v de 2,5%, sendo esta uniformidade considerada excelente segundo Bralts & Kesner (1983) .

Quanto ao índice de uniformidade de emissão (UE), o valor médio encontrado foi de 89,3% com C_v de 3,2%, sendo esta uniformidade considerada boa segundo Clemmens & Solomon, 1997).

Tabela 4. Resultados dos ensaios quanto à uniformidade e eficiência na irrigação localizada

ENSAIO Nº	q média (l/h)	q 25%	UE (%)	CUC(%)	UE _s (%)	Ea (%)	Ed (%)	Es (%)
1	0,390	0,351	89,9	94,1	92,8	100,0	100,0	65,0
2	0,384	0,342	89,1	93,3	92,0	100,0	100,0	64,0
3	0,448	0,394	88,0	91,4	90,5	100,0	100,0	74,6
4	0,390	0,348	89,1	93,2	91,6	100,0	100,0	65,0
5	0,388	0,346	89,2	93,8	92,4	100,0	100,0	64,6
6	0,387	0,347	89,6	93,8	92,6	100,0	100,0	64,4
7	0,424	0,388	91,4	95,1	93,8	100,0	100,0	70,6
8	0,419	0,384	91,6	95,2	93,8	100,0	100,0	69,7
9	0,403	0,354	87,7	92,8	90,5	100,0	100,0	67,1
10	0,402	0,369	91,8	95,2	93,8	100,0	100,0	67,0
11	0,403	0,369	91,4	94,9	93,6	100,0	100,0	67,1
12	0,429	0,396	92,2	95,2	94,1	100,0	100,0	71,4
13	0,410	0,375	91,5	94,6	93,4	100,0	100,0	68,2
14	0,334	0,290	86,9	91,9	90,0	100,0	100,0	55,6
15	0,405	0,330	81,4	90,4	83,6	100,0	100,0	67,4
16	0,421	0,391	92,9	95,2	94,3	100,0	100,0	70,1
17	0,412	0,379	91,9	95,0	93,9	100,0	100,0	68,6
18	0,410	0,374	91,3	94,9	92,3	100,0	100,0	68,2
19	0,395	0,363	91,8	94,7	93,6	100,0	100,0	65,7
20	0,383	0,352	91,8	94,6	93,1	100,0	100,0	63,8
21	0,375	0,306	81,5	90,4	86,8	100,0	100,0	62,5
22	0,385	0,346	89,9	94,1	92,9	100,0	100,0	64,0
23	0,382	0,343	89,7	94,0	92,8	100,0	100,0	63,6
24	0,396	0,350	88,3	93,4	90,5	100,0	100,0	65,9
25	0,388	0,355	91,3	94,8	93,8	100,0	100,0	64,6
26	0,375	0,335	89,4	93,9	92,6	100,0	100,0	62,4
27	0,361	0,319	88,5	93,4	92,0	100,0	100,0	60,0
28	0,355	0,318	89,5	93,7	92,3	100,0	100,0	59,2
29	0,344	0,301	87,6	92,7	91,3	100,0	100,0	57,2
30	0,325	0,272	83,8	91,0	89,1	100,0	100,0	54,1
MÉDIAS	0,391	0,349	89,3	93,7	92,0	100,0	100,0	65,0

A eficiência de aplicação (Ea) e a eficiência de distribuição (Ed) foram de 100%, indicando que houve um déficit de irrigação não sendo atendida a lâmina requerida.

E eficiência de armazenagem (Es) foi de 65%, com Cv de 7,1 %, comprovando que a quantidade de água foi insuficiente para atender à necessária na zona radicular.

Considerando-se as médias dos volumes coletados, têm-se os valores que constam na Tabela 5. Para estes valores o CUC foi de 94,2%, a uniformidade de emissão (UE) foi de 90,2% e a uniformidade de emissão estatística foi de 93,0%. Estes valores foram ligeiramente superior à média dos coeficientes calculados para cada ensaio.

Segundo Bralts (1986), citado por Frizzone (1992), parcelas de irrigação localizada que apresentam valor de UE acima de 90% são classificadas como excelente, logo o valor obtido de 90,2% se encontra nesta faixa.

Coefficiente de Uniformidade Estatística (UEs) acima de 90% são considerados excelentes (Bralts & Kesner, 1983), e o valor encontrado de 93,0% se enquadra nesta faixa.

Tabela 5 Valores médios de volume coletado e vazão

Lateral	Emissor	volume médio coletado (ml)	Vazão média q_i (L/h)
início	início	389	0,389
	1/3 abaixo	369	0,369
	2/3 abaixo	342	0,342
	final	336	0,336
1/3 abaixo	início	404	0,404
	1/3 abaixo	381	0,381
	2/3 abaixo	363	0,363
	final	374	0,374
2/3 abaixo	início	415	0,415
	1/3 abaixo	405	0,405
	2/3 abaixo	410	0,410
	final	393	0,393
final	início	415	0,415
	1/3 abaixo	416	0,416
	2/3 abaixo	417	0,417
	final	422	0,422

Observa-se que a grande diferença entre o CUC e a UE obtida nos ensaios pode ser explicada pelo fato que o modelo proposto por Keller & Karmeli (1975) considera o peso das vazões 25% menores, o que não ocorre no cálculo proposto por Christiansen (1942), pois ocorre uma diluição dos valores, uma vez que, considera-se todas as vazões, fazendo que uma vazão compense a outra.

Através das médias coletadas nos ensaios foi feita uma simulação para a obtenção do tempo de irrigação necessário que o sistema deve ser utilizado para atendimento da lâmina de irrigação necessária.

O sistema de irrigação por gotejamento teria que funcionar 1,6 h para atender a demanda hídrica, sendo que o grau de adequação de irrigação será de 76%, e o déficit hídrico de 24% da área total. Este déficit é aceitável, uma vez que o aumento da lâmina de irrigação elevaria o custo operacional do sistema, nem sempre compensado com o aumento de produtividade correspondente, além do que aumentaria a percolação provocando perda dos nutrientes por lixiviação podendo contaminar o lençol freático.

Na Figura 6, está plotado o perfil de infiltração de água no solo, para o tempo de 1,6 h onde V_p, V_s e V_d são respectivamente, o volume de água perdida por percolação, o volume de água armazenado na zona radicular e o volume de déficit.

Nestas condições, a lâmina média aplicada seria de 9,5 mm e o CUC de 94,4%. Já a eficiência de aplicação e a eficiência de armazenagem seriam de 94,9% e 98,5%, respectivamente.

Analisando o gráfico do perfil de infiltração, a moderada declividade indica que a água é aplicada mais uniformemente por este sistema, havendo menos perdas por percolação e menor déficit hídrico.

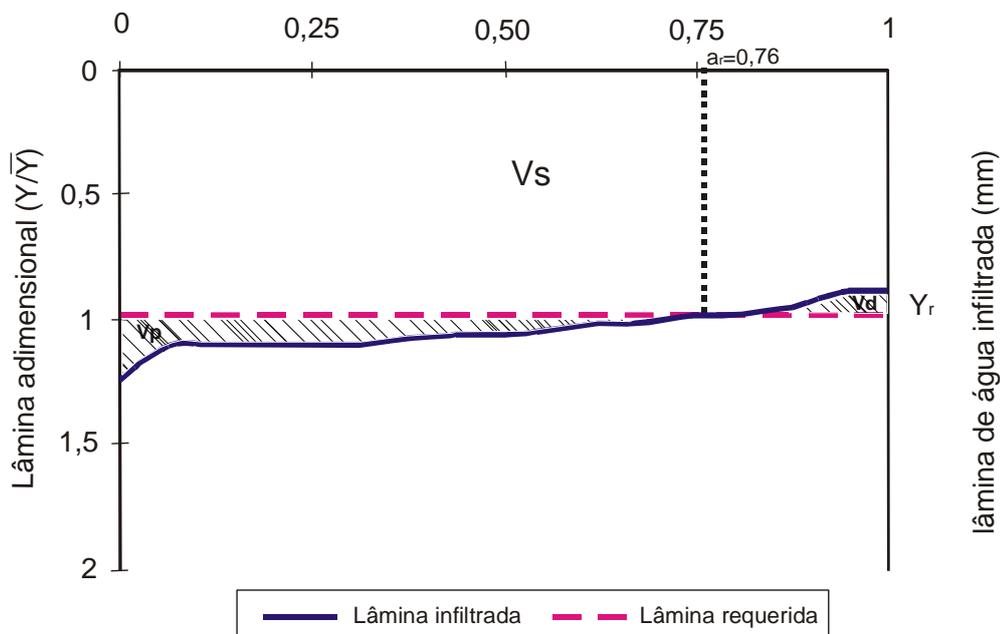


Figura 6. Perfil de infiltração de água no solo considerando-se as lâminas médias dos ensaios simulados para o tempo de 1,6 h.

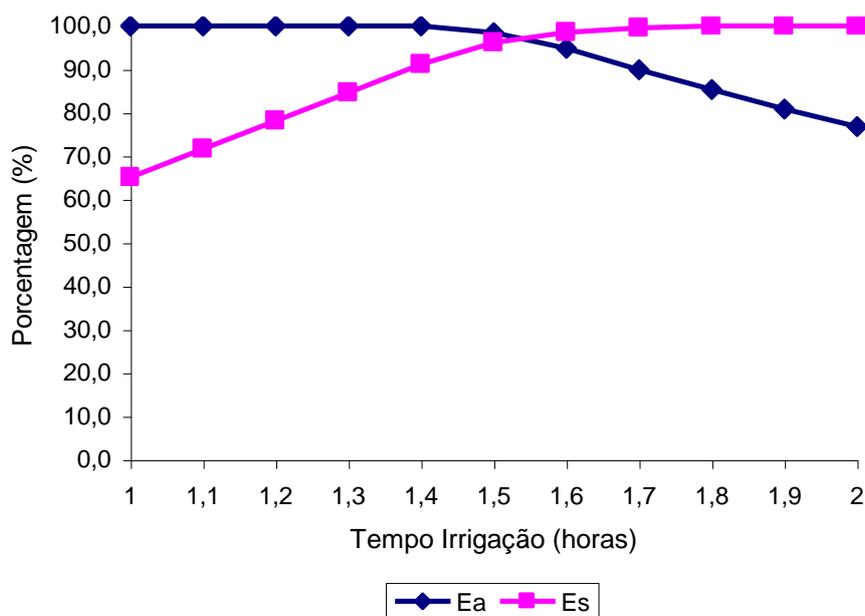


Figura 7. Simulação da eficiência de aplicação e eficiência de armazenagem

A Figura 7 mostra a relação entre a eficiência de aplicação e a eficiência de armazenamento com o tempo de irrigação. O ponto de interseção está entre 1,5 e 1,6 h, onde as eficiências teriam o mesmo valor.

O tempo de irrigação obtido é coerente com o preconizado por Frizzone (1997) citado por Soccol et al. (2002), que sugeriu que fosse o tempo em que E_a fosse igual a E_s , considerando as dificuldades em utilizar um critério econômico.

6 CONCLUSÃO

6.1 Sistema de irrigação por aspersão

Com base nos resultados obtidos e condições de condução do trabalho a campo, podemos concluir que este sistema, quanto à uniformidade de distribuição de água, apresentou CUC de 77,9% ficando abaixo de 80%, preconizado pela literatura como o mínimo aceitável.

O coeficiente de uniformidade estatística (CUE) encontrado foi de 70,5% ficando abaixo do valor mínimo aceitável de 75%.

A eficiência de aplicação (E_a) encontrada para o sistema foi igual a 77,0% e a eficiência de armazenagem (E_s) foi de 48,8 %, demonstrando que a lâmina aplicada foi inferior à lâmina real necessária, indicando que a irrigação foi deficitária.

Observou-se nas condições dos ensaios a correlação linear negativa entre velocidade de vento e CUC, sendo que houve uma melhor distribuição de água na região central entre os aspersores em função da sobreposição das lâminas aplicadas pelo sistema.

Para o tempo de 2,1 h, o CUC seria de 89,1% com a lâmina média aplicada de 9,3 mm e as eficiências de aplicação (E_a) e de armazenagem (E_s) seriam respectivamente, de 71,1 % e 95,3 %.

6.2 Sistema de irrigação por gotejamento

Quanto à uniformidade de distribuição de água, podemos concluir que este sistema apresentou um CUC de 93,7%, sendo considerado excelente. A uniformidade de emissão (UE) obtida foi de 89,3 % sendo considerada boa. A eficiência de aplicação (E_a) encontrada para o sistema foi de 100% e a eficiência de armazenagem (E_s) foi de 65,0 %, sendo que a lâmina foi insuficiente para atender a demanda hídrica da cultura.

Quanto aos parâmetros de eficiência, foi observado que a alteração do manejo, através do aumento do tempo de irrigação pode-se maximizar as eficiências de aplicação (E_a) e de armazenagem (E_s).

Para o tempo de 1,6 h, o CUC seria de 94,4% com lâmina média aplicada de 9,5 mm e as eficiências de aplicação (E_a) e de armazenagem (E_s) seriam, respectivamente, de 94,9% e 98,5%.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. **ASAE Standarts**. St. Joseph, 1995. 818p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de irrigação agrícola – Aspersores rotativos. Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio**. NBR ISO 7749-2. Rio de Janeiro, 2000. 6p.

BRALTS, V.F.; KESNER, C.D. **Drip irrigation field uniformity estimation**. Transactions of the ASAE, v.24, n.5, p.1369-1374, 1983.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1942. 142p.

CLEMMENS, A.J.; SOLOMON, K.H. **Estimation of global irrigation distribution uniformity**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.123, n.6, p.454-461, 1997.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por Aspersão: Uniformidade e Eficiência**. Série didática nº 3. Piracicaba: ESALQ- Depto. Engenharia Rural, 1992. 54p.

GOMES, H.P. **Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento**. João Pessoa: Universidade Federal do Paraíba, 1994. 344p.

KELLER, J. ; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 615p.

KELLER,J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. California: Rain Bird Sprinkler Mfg. 1975. 123p.

MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. **Eficiência na aplicação da água**. In: COSTA, E.F., MERRIAM, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah University, 1978. 271p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri,SP: Manole, 2004. 478p.

REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A.; FRIZZONE, J.A.; FREITAS, P.S.L; BERTONHA, A.;JUNIOR, C.H. **Uniformidade da lâmina de irrigação, da umidade do solo e da produção da cultura do feijoeiro, especialmente referenciadas**. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v.25, n.2, p.425-437, 2003.

SOCCOL, O.J.; ULLMANN, M.N.; FRIZZONE, J.A. **Performance analysis a trickle irrigation subunit installed in an apple orchard**. Brazilian Archives Biology and Technology, v.45, n.4, p.525-530, 2002.

TARJUELO, J.M; MONTERO, J.; HONRUBIA, F.T.; ORTIZ, J.J.; ORTEGA, J.F. **Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area**. Agricultural Water Management, v.40, p.315-331, 1999.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.N.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. **Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 621-633, 2000.