

QUALIDADE DA IRRIGAÇÃO CONTROLADA POR TENSÍOMETROS EM PIVÔ CENTRAL¹

A.M. SAAD

Laboratório de Física do Solo-DIGEO/IPT, CEP:055008-901-São Paulo, SP

P.L. LIBARDI

Departamento de Física e Meteorologia-ESALQ/USP, C.P. 9 - CEP: 13418-900 - Piracicaba, SP

RESUMO: A qualidade da irrigação foi avaliada durante a safra de inverno do ano de 1988 na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), irrigado por pivô central, em área de ocorrência de Latossolo Roxo (A moderado, textura argilosa a muito argilosa, distrófico), em Guaíra, SP. Os critérios utilizados para esta avaliação foram a eficiência do uso da água pela cultura e a efetividade da irrigação, esta última representada pela eficiência de aplicação da água, a uniformidade de distribuição da água sobre o solo e a eficiência de armazenagem da água no solo. O monitoramento das irrigações foi realizado através da instalação de 20 baterias de tensiômetros e 60 coletores de água de chuva e irrigação ao longo de uma transeção de 300 metros na direção radial do pivô. Os tensiômetros de cada bateria foram instalados a 15 cm e 30 cm de profundidade e espaçados entre si de 15 metros. Os coletores foram instalados a uma altura de 50 cm da superfície do terreno e distanciados entre si de 5 metros. O controle da irrigação foi feito com base na média ponderada dos 20 valores diários de potencial mátrico a 15 cm de profundidade, tendo como fator de ponderação a área representativa de cada tensiômetro. O valor mínimo de potencial mátrico estabelecido para a definição do momento da irrigação foi -0,06 MPa à profundidade de 15 cm e o valor da lâmina de água a ser aplicada em cada irrigação, calculado tendo-se em conta o valor de -0,008 MPa para o potencial mátrico a capacidade de campo. Os resultados obtidos mostraram que as irrigações efetuadas foram de alta qualidade uma vez que foram elevados os valores da eficiência de aplicação (80%) e dos coeficientes de uniformidade de distribuição (94 e 91%) calculados a partir das 16 irrigações acumuladas, o mesmo ocorrendo com a eficiência de armazenagem (95%) e a eficiência de uso da água (0,8 kg/m³).

Descritores: efetividade da irrigação, tensiômetro, pivô central, feijão

QUALITY OF CENTER PIVOT IRRIGATION CONTROLLED BY TENSIMETERS

SUMMARY: The irrigation quality was evaluated for a center pivot winter bean (*Phaseolus vulgaris*, L) crop in a Typic Hapludox of the county of Guaíra (SP), Brazil (20° 27'30"S, 48°19'30"W, 495m). Criteria used for this evaluation were the crop water use efficiency and the irrigation "effectivity", the latter being assessed by the water application efficiency, the water distribution uniformity on the soil surface and the soil water storage efficiency. The irrigation monitoring was done by means of 20 sets of two tensiometers (15 and 30 cm soil depths) installed at each 15 m on a 300 m transect along the radial direction of the pivot, and 60 rain/irrigation gages installed at each 5 m on the same transect. The irrigation control was done by means of the 15 cm soil depth tensiometers. The minimum matric potential value used to define the irrigation timing was -0,06 MPa and the water depth to be applied by the pivot was calculated taking into account the value of -0,008 MPa for the soil at field capacity. Results showed that irrigations were of high quality since high values of water application efficiency (80%) and water distribution uniformity coefficients (94% and 91%) were obtained, the same occurring with the soil water storage (95%) and crop water use (0,8 kg/m³) efficiencies.

Key words: irrigation "effectivity", tensiometer, center pivot, *Phaseolus vulgaris*

INTRODUÇÃO

O conhecimento da qualidade da irrigação é fundamental para se evitarem prejuízos financeiros

e de degradação física, química e biológica do sistema solo-planta, em áreas de alto investimento tecnológico, como por exemplo, as áreas irrigadas por pivô central na região de Guaíra, SP.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor (Curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ/USP)

A qualidade da irrigação pode ser avaliada pelo conhecimento da sua efetividade e da eficiência do uso da água pelas plantas. O termo efetividade da irrigação, segundo FRIZZONE (1992), descreve qualitativamente a eficiência de aplicação, a uniformidade de distribuição e a eficiência de armazenagem da água no solo. A eficiência de aplicação representa, basicamente, a fração do volume total de água aplicada que é armazenada na profundidade do sistema radicular enquanto que a eficiência de armazenagem, a fração do volume de água requerida armazenada na profundidade do sistema radicular. Para medida da uniformidade de distribuição ou, de outra forma, da variabilidade da lâmina de irrigação aplicada sobre a superfície do solo, uma série de índices tem sido definida como o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) modificado por HEERMANN & HEIN (1968) e a uniformidade de distribuição (UD) KRUISE (1978), dentre outros. A eficiência do uso da água, por outro lado, é definida por BEGG & TURNER (1976) como a razão entre a produção e a evapotranspiração da cultura. Esse mesmo conceito é definido, de forma mais abrangente, por HILLEL (1972), como sendo a razão entre a produção da cultura e o volume total de água aplicado durante o seu desenvolvimento.

A qualidade da irrigação depende consequentemente, tanto dos fatores que envolvem o desempenho do equipamento de irrigação, como dos fatores associados ao controle da irrigação, estes últimos diretamente relacionados às características genéticas da planta, às propriedades físico-hídricas do solo e às condições climáticas locais.

O conhecimento da qualidade da irrigação, através da quantificação dos parâmetros que avaliam a sua efetividade e a eficiência do uso da água pelo feijoeiro, monitorado por tensiometria, é o objetivo principal desse trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Recanto da Barcelona, município de Guaíra, SP. As coordenadas geográficas do local são 20°27'30" de latitude sul, 48°19'30" de longitude oeste e 495 metros de altitude. O solo é um Latossolo Roxo distrófico de textura argilosa a muito argilosa (Typic Hapludox).

A área experimental era plana e consistiu de 1/4 do círculo de irrigação de 311 m de raio de um pivô central de 6 torres, comprimento total de 281 m e vazão estimada de 201 m³/h. A capacidade

de aplicação de água do pivô central para uma área adequadamente irrigada de 90% em 21 h foi de 11 mm. As lâminas de água aplicadas e o tempo de rotação do sistema são apresentados na TABELA 1.

A partir do ponto do pivô central foram instaladas 20 baterias de tensiômetros de manômetro de mercúrio (15 e 30 cm de profundidade) distanciadas entre si de 15 metros e 60 coletores de água de chuva e irrigação de 1 litro de capacidade e área de captação circular de 53 cm² distanciados entre si de 5 m, ao longo do raio coincidente com a linha média da área experimental (1/4 de círculo). A primeira bateria de tensiômetros localizava-se a 7,5 m e o primeiro coletor de água a 2,5 m do centro do pivô.

TABELA 1 - Lâminas de água aplicadas e tempo de rotação do sistema.

Controle da velocidade	Velocidade da última torre	Tempo de Giro	Lâmina mínima em função da fração de área irrigada (mm)		
			50%	80%	90%
100	137,4	12,21	7,93	6,98	6,42
90	130,1	12,90	8,38	7,37	6,79
80	97,8	17,16	11,48	9,80	9,02
70	90,0	18,64	12,11	10,66	9,81
60	76,5	21,95	14,25	12,54	11,54
50	62,2	26,97	17,51	15,41	14,18
40	52,0	32,26	20,94	18,43	16,96
30	37,8	44,39	28,82	25,36	23,34

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1989)

A partir desse arranjo experimental, iniciou-se o experimento com a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar carioca. A semeadura foi feita no dia 15 de junho de 1988 no espaçamento de 53 cm entre linhas e 15 sementes por metro linear. A emergência ocorreu no dia 26 de junho de 1988 e a colheita do experimento no dia 26 de setembro de 1988. Para a avaliação da produção, a colheita foi feita a partir de três parcelas de 2m (ao longo das linhas de feijão) por 2,65 m (perpendicular às linhas) ao redor de cada bateria de tensiômetros, totalizando 60 parcelas.

A leitura dos tensiômetros foi feita diariamente pela manhã (aproximadamente às 8 horas) e o controle da irrigação indicou 16 regas durante o período de 09/07/1988 a 26/09/1988, isto é, a partir da 25ª dia após a semeadura. Devido à sensibilidade de variação do potencial mátrico

conforme o solo seca, adotaram-se, além das leituras regulares diárias às 8 horas, leituras adicionais, próximas ao momento da irrigação, no período vespertino. Foram realizadas 130 leituras no período de 80 dias, o que equivale a aproximadamente uma leitura a cada 15 horas.

Assumiu-se e fixou-se em 30 cm a profundidade efetiva do sistema radicular para efeito do cálculo das lâminas de irrigação.

Potencial mátrico e umidade: Por se tratar de irrigação por pivô central, com cada tensiômetro representando diferentes áreas de terreno irrigado, adotou-se como valor médio do potencial mátrico da área, a média ponderada dos potenciais, considerando como pesos as frações da área representativas das baterias.

Chamando de f_i a fração da área representativa da i -ésima bateria, isto é, a área compreendida pelo círculo de raio $r_i + e/2$ e o círculo de raio $r_i - e/2$, pelo que $f_i = 2\pi \cdot r_i \cdot e$, sendo e o espaçamento (15 m) entre as baterias e r_i a distância do centro geométrico da área (ponto do pivô central) até o local de instalação do tensiômetro i , de tal modo que $r_i = e(i-0,5)$, onde i é o número de ordem do tensiômetro (1,2,3,...,n), resulta para h , a média ponderada do módulo do potencial mátrico das 20 baterias ($n=20$), a seguinte expressão:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{n=20} (i-0,5)h_i}{\sum_{i=1}^{n=20} (i-0,5)} \quad (1)$$

na qual h_i é o valor do módulo do potencial mátrico na bateria de tensiômetro de número de ordem i .

As lâminas de água requeridas foram calculadas através dos valores de umidade volumétrica obtidos do ajuste matemático da curva de retenção da água no solo à equação de Genuchten (1980) cujos parâmetros (média de quatro locais representativos da área de interesse), para as profundidades de 15 e 30 cm, encontram-se na TABELA 2.

Lâminas de água requerida e aplicada: O valor da lâmina de água requerida (lr), em mm, foi obtido a partir da seguinte equação:

$$lr = (\theta_{cc} - \theta_{md}) \times 300 \quad (2)$$

onde:

θ_{cc} = valor médio da capacidade de campo (cm^3/cm^3) no perfil de solo (0 a 30 cm), assumindo como valor de potencial mátrico -0,008 MPa.

θ_{md} = valor da umidade volumétrica (cm^3/cm^3) atual ponderada do perfil de solo (0 a 30 cm), obtido através da seguinte equação:

$$\theta_{md} = (\theta_{15} \cdot 0,75) + (\theta_{30} \cdot 0,25) \quad (3)$$

onde:

θ_{15} e θ_{30} = umidades volumétricas (cm^3/cm^3) a 15 e a 30 cm de profundidade estimada a partir da curva de retenção de água.

0,75 e 0,25 = fatores de peso da média ponderada.

TABELA 2 - Parâmetros estimados da equação de Genuchten (1980) para cálculo da umidade volumétrica a partir dos valores de potencial mátrico.

Profundidade cm	α (cm^{-1})	m	n	θ_r	θ_s
				(cm ³ /cm ³)	
15	0,073828	0,3299	1,4925	0,290	0,580
30	0,097561	0,3265	1,4848	0,276	0,604

A lâmina de água aplicada considerou uma eficiência de aplicação de 79% determinada em ensaios de desempenho hidráulico e de distribuição de água realizado anteriormente nesse pivô central (IPT 1987).

Lâmina média coletada e uniformidade de distribuição: Para o cálculo da lâmina média de água coletada e do coeficiente de uniformidade de Christiansen-CUC, adotou-se o procedimento sugerido por HEERMANN & HEIN (1968), através do qual se utilizam fatores de ponderação para corrigir as diferenças de área das superfícies de terreno representativas dos diversos coletores.

Assim, a lâmina média ponderada l_m foi determinada da mesma forma como descrito para cálculo do potencial mátrico médio ponderado (equação 1), com substituição, na equação (1), de h por l_m , de h_i por l_i (lâmina de água coletada no coletor de número de ordem i) e de $n=20$ por $n=60$ (60 coletores de água de irrigação).

Definindo o CUC em termos de média ponderada, isto é,

$$CUC = \left(1 - \frac{d}{l_m} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

de modo que d é o desvio médio ponderado do valor absoluto das diferenças entre cada lâmina l_i e a lâmina média ponderada l_m , calculado de modo semelhante à equação (1) bastando substituir h por d , h_i por $l_i - l_m$ e $n=20$ por $n=60$, resulta para CUC a expressão final:

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n=60} (i-0,5) \cdot (|l_i - l_m|)}{l_m \cdot \sum_{i=1}^{n=60} (i-0,5)} \right] \cdot 100 \quad (5)$$

A uniformidade de distribuição - UD foi determinada conforme MERRIAM et al. (1983), isto é, pela razão entre a média ponderada das 25% menores lâminas (l_{25}), correspondente a 1/4 da área irrigada e a lâmina média ponderada (l_m).

Eficiências de aplicação e de armazenagem: Para o cálculo da eficiência de aplicação de água do pivô central, adotou-se o modelo de distribuição normal proposto por WALKER (1979). Este modelo calcula os parâmetros tendo por base um diagrama de distribuição de frequência acumulada e normalizada das lâminas de água (l_i) coletadas durante os ensaios de uniformidade de distribuição em função da fração da área total (f_i) representada por cada um dos coletores. O detalhamento metodológico é discutido nos trabalhos de HART(1961), HART & REYNOLDS (1965) e WALKER (1979).

A eficiência de armazenagem da água foi calculada através da medida da variação de armazenagem da água no perfil de solo, da superfície até a profundidade efetiva do sistema radicular (0 a 30 cm). Para o cálculo da variação da armazenagem foram utilizados os valores médios de umidade do solo obtidos indiretamente pelas leituras dos tensiômetros e calculados através da curva de retenção da água. A equação utilizada para calcular a armazenagem diária foi a seguinte:

$$ARM = (\theta_{15} \cdot 255) + (\theta_{30} \cdot 75) \quad (6)$$

onde:

ARM = Armazenagem da água no solo na camada da profundidade efetiva do sistema radicular.

θ_{15} e θ_{30} = umidades volumétricas (cm^3/cm^3) a 15 e a 30 cm de profundidade estimada a partir da curva de retenção da água.

A eficiência de armazenagem foi determinada pela seguinte equação:

$$E_{ARM} = \left(\frac{Arm_{max}}{Arm_{cc}} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

onde:

E_{ARM} = Eficiência de armazenagem da água (%).

Arm_{cc} = Armazenagem à capacidade de campo, na região efetiva do sistema radicular (=121,5 mm).

Arm_{max} = Armazenagem máxima medida após a irrigação. Essa leitura depende do intervalo de leitura dos tensiômetros (uma a cada 15 horas em média).

Eficiência do uso da água: O valor da eficiência do uso da água de acordo com HILLEL (1972) foi obtido pela divisão da produção média ponderada das 60 parcelas pelo total de água aplicado (chuva ou irrigação). Como não houve precipitação pluvial durante os 80 dias de monitoramento da cultura, a lâmina total aplicada nas 16 irrigações foi o valor utilizado no denominador. O mesmo índice também foi determinado de acordo com o conceito de BEGG & TURNER (1976) considerando a mesma produção média ponderada das 60 parcelas e o valor da evapotranspiração atual obtido por SAAD (1991) pelo método do balanço hídrico no solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma irrigação é considerada de alta qualidade quando o teor de água no solo é mantido com valores adequados durante o desenvolvimento da cultura, e as perdas por evaporação, por escoamento superficial e por drenagem profunda minimizadas. Sabe-se também, que existem diferentes caminhos e formas de se calcular as expressões que caracterizam a uniformidade de distribuição de água e as eficiências de irrigação. Os resultados apresentados nesse trabalho foram obtidos de um monitoramento diário das condições de umidade do solo e da avaliação de desempenho e de distribui-

ção de água de todas as irrigações havidas durante os principais estádios fenológicos da cultura.

A TABELA 3 apresenta o resultado dos parâmetros relativos a uniformidade de distribuição de água das 16 irrigações.

TABELA 3 - Lâminas infiltradas e coeficientes de uniformidade

Nº de ordem	Data leitura	Lâmina média (mm)	CUC (%)	UD (%)
1	15/07/88	39,0	86,9	80,9
2	23/07/88	16,4	86,3	79,4
3	25/07/88	8,9	90,9	87,7
4	31/07/88	14,6	83,9	76,5
5	02/08/88	22,6	90,9	85,4
6	08/08/88	20,9	91,8	87,7
7	12/08/88	22,6	86,6	80,7
8	17/08/88	26,8	90,4	83,0
9	22/08/88	21,5	92,0	86,1
10	25/08/88	26,8	89,5	81,6
11	30/08/88	26,2	93,4	87,1
12	03/09/88	24,8	88,9	83,7
13	07/09/88	26,0	88,1	78,4
14	11/09/88	23,6	93,5	91,2
15	17/09/88	25,6	90,5	84,4
16	24/09/88	23,3	87,7	79,6
Acumulada		369,6	94,0 ¹	91,0 ¹

(1) Valores calculados com a somatória das 16 lâminas de água.

O perfil acumulado de distribuição de água das 16 irrigações ao longo do raio do pivô central é apresentado na Figura 1.

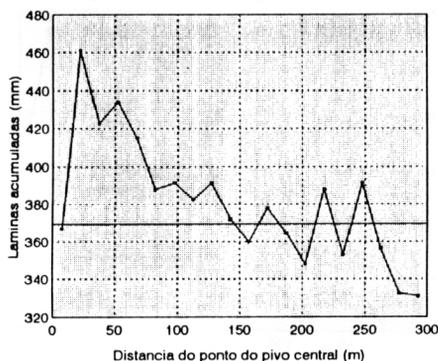


Figura 1 - Distribuição das lâminas acumuladas (16 irrigações) ao longo do raio do pivô.

Nota-se que, apesar dos valores altos de uniformidade apresentados, o equipamento acumulou uma região de excesso de água entre 12,5 e 72,5 m de distância do ponto do pivô. Nesta posição do pivô central, cuja área representa 5,30% da área total irrigada, a diferença entre o valor médio e o valor máximo de lâmina de água foi de 90,5 mm. A dificuldade de se encontrar diâmetros de bocais, que ao mesmo tempo, possuam pequenas vazões e não sejam obstruídos por impurezas, torna essa região do pivô central, muito suscetível a excessos ou déficits de água em qualquer tipo de equipamento. Apesar de representar uma pequena área do pivô central, o excesso de água ocorrido nos primeiros 100 m, influenciou na queda da produção da cultura nessa área como pode ser observado pelo gráfico apresentado na Figura 2.

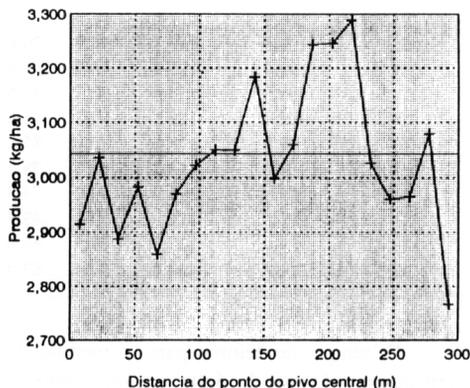


Figura 2 - Produção da cultura de feijão irrigado, ao longo do raio do pivô.

Ao se associarem os valores das lâminas de água acumuladas durante as 16 irrigações e infiltradas nas frações da área total representativas de cada bateria de tensiômetro, observa-se uma íntima relação entre os valores das lâminas e os valores do potencial mátrico médio de 130 leituras nos 80 dias de monitoramento, como apresentado na Figura 3. Esse fato indica a importância de se conhecer antecipadamente a distribuição de água do equipamento, apesar dos efeitos benéficos provocados certamente pela redistribuição da água infiltrada no próprio perfil do solo. Sugere, também, que o tensiômetro é um equipamento de

boa sensibilidade para detectar as variações de umidade nesse tipo de solo. Além disso, alerta para o cuidado a ser observado na posição de instalação do equipamento sob o pivô central, a experiência tem mostrado que esse local deve ser uma região onde o pivô aplica valores próximos da lâmina média ponderada calculada pelo ensaio.

Os valores das eficiências de armazenagem e de aplicação estão discriminados para cada irrigação na TABELA 4.

TABELA 4 - Eficiências de armazenagem (ARM) e de aplicação (APL) das irrigações.

Nº de ordem	Lâmina média (mm)	Armazenagem antes da irrigação	Armazenagem depois da irrigação	Eficiências (ARM) %	Eficiências (APL) %
1	39,0	104,5	127,6	105,0	43,7
2	16,4	108,2	113,6	93,5	80,0
3	8,9	111,9	114,0	93,8	99,5
4	14,6	104,7	105,5	86,8	98,2
5	22,6	103,7	122,5	101,0	78,4
6	20,9	101,9	111,0	91,4	92,1
7	22,6	103,9	119,3	98,2	76,8
8	26,8	102,9	116,2	95,7	69,4
9	21,5	100,9	112,6	92,7	93,5
10	26,8	101,2	120,5	99,1	75,5
11	26,2	99,0	116,6	96,0	85,7
12	24,8	101,8	116,7	96,1	79,1
13	26,0	101,9	114,4	94,2	74,8
14	23,6	100,2	115,9	95,6	89,8
15	25,6	99,9	120,9	99,5	83,6
16	23,3	100,6	110,6	90,6	87,3

O tempo de leitura para a medida da armazenagem máxima de água no solo, após a irrigação, foi, em média, 19,8 horas, 14,1 horas e 11 horas para os estádios de desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e de maturação, respectivamente. Foram realizadas 7 irrigações durante a fase de desenvolvimento vegetativo, 7 no período reprodutivo e 2 na fase de maturação.

Observa-se que as irrigações de números 1 e 5 ultrapassaram de 5% e 1%, respectivamente, o valor da armazenagem à capacidade de campo, ocasionando pequenas perdas por drenagem profunda (LIBARDI & SAAD 1993) as quais podem ser comprovadas pelos valores maiores de 100% do coeficiente de armazenagem.

A análise dos resultados apresentados na TABELA 4, sugere que o critério utilizado, para definir o momento e a quantidade de água a ser

aplicada, possibilitou elevados valores para a eficiência de armazenagem e pequenas perdas por drenagem profunda, como consequência dos altos valores de eficiência de aplicação. A eficiência de aplicação calculada com base nas 16 irrigações acumuladas foi de 80%. A eficiência de armazenagem média, medida através da variação de armazenagem de água no solo, foi de 95,3%.

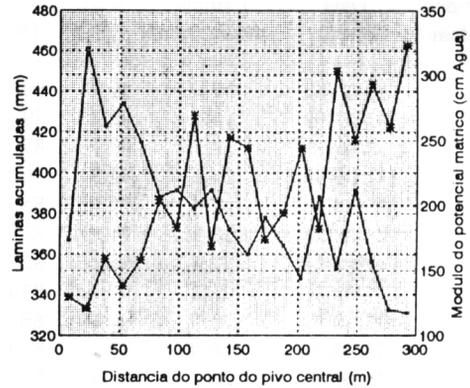


Figura 3 - Potencial mátrico (cm água) e lâmina de água aplicada (16 irrigações) ao longo do raio do pivô.

Os valores da eficiência de uso da água pelo feijoeiro, conforme o conceito de HILLEL (1972), estão apresentados na Figura 4; seu valor médio foi de 0,8 kg/m³. Observa-se no gráfico da Figura 4, que os locais onde ocorreu o excesso de água (12,5m a 100m do ponto do pivô) foram os que mais contribuíram para a queda acentuada do valor desse parâmetro.

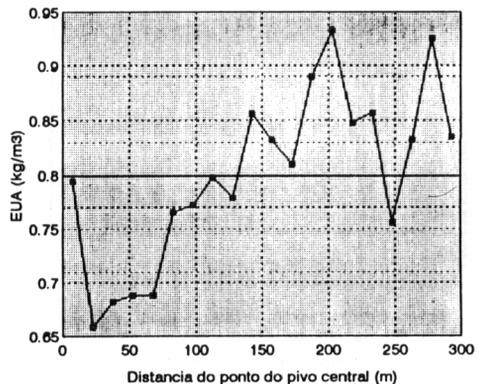


Figura 4 - Eficiência de uso da água (EUA) ao longo do raio do pivô.

Diante deste resultado, pode-se afirmar, que sob o pivô central, as áreas responsáveis por déficit de água utilizam-na mais eficientemente (região entre 275 a 300m do centro do pivô central) que as áreas onde ocorrem o excesso.

O balanço hídrico no solo, apresentado por SAAD (1991), estimou em 350 mm o valor total da evapotranspiração da cultura do feijoeiro. Sendo o valor médio ponderado da produção da cultura 3040 kg/ha, o índice proposto por BEEG & TURNER (1976), para determinar a eficiência de uso da água, é de 0,87 kg/m³. Esse valor um pouco maior em relação ao de HILLEL (1972) (0,8 kg/m³) deve-se provavelmente às drenagens ocorridas nas irrigações 1 e 5.

Sugere-se que os locais onde os valores de eficiência de uso da água são mais elevados, devam ser os de instalação das baterias de tensiômetros, neste caso, uma distância de, aproximadamente, 3/4 do raio irrigado em relação ao ponto do pivô.

CONCLUSÕES

A elevada qualidade da irrigação, com resultados desprezíveis de drenagem profunda, pôde ser comprovada pelas altas eficiências de armazenagem e de uso da água pela cultura. Constatou-se, portanto, que os bons resultados encontrados no controle da água de irrigação, com a utilização dos tensiômetros em pivô central, são função direta da proposta metodológica apresentada a qual foi fundamentada na prévia caracterização das principais variáveis que envolvem a dinâmica da água de irrigação no sistema solo/planta/atmosfera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEEG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.28, p.161-217, 1976.
- FRIZZONE, J.A. Irrigação por superfície - princípios de operação e manejo. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1992. 82p. (DER. Série Didática, 4).
- HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. *Agricultural engineering*. St. Joseph, v.42, n.7, p.354-355, 1961.
- HART, W.E.; REYNOLDS, W.N. Analytical design of sprinkler system, *Transactions of ASAE*, St. Joseph, v.8, n.1, p.83-85, 1965.
- HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation systems. *Transactions of ASAE*, St. Joseph, v.11, n.1, p.11-15, 1968.
- HILLEL, D. The field water balance and water use efficiency. In: _____. *Optimizing the soil physical environment towards greater crop yields*. New York: Academic Press, 1972. p.79-100.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT: Apoio Tecnológico à Agricultura Irrigada do município de Guaíra, São Paulo. São Paulo, 1987. 59p. (Publicação IPT, 1746).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT: Avaliação de desempenho de sistema de irrigação por aspersão no município de Guaíra, SP. São Paulo, 1989. 143p. (IPT - Relatório 27406)
- KRUISE, E.G. Describing irrigation efficiency and uniformity, *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, *Aim Arbor*, v.104, n.1R1, p.35-41, 1978.
- LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Avaliação da drenagem no balanço hídrico em cultura de feijão irrigado por pivô central, Guaíra, SP. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993. Goiânia. Resumos... Goiânia, 1993. v.3.
- MERRIAN, J.L.; SHEARER, M.N.; BURT, C.M. Evaluating irrigation systems and practices. In: JENSEN, M.E., ed, *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASAE, 1983. p.721-760. (ASAE. Monography, 3).
- SAAD, A.M. Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central em cultura de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1991, 144p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- WALKER, W.R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: Efficiency model. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, *Aim Arbor*, v.105, n.1R2, p.129-136, 1979.

Recebido para publicação em 09.03.94
Aceito para publicação em 02.05.94