

IX. IRRIGAÇÃO

MÉTODO PARA CÁLCULO DO INTERVALO DE IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR ⁽¹⁾

REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES ⁽²⁾ e FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA ⁽²⁾

RESUMO

Este trabalho visa desenvolver um método para estimativa da necessidade de irrigação suplementar em regiões tropicais e subtropicais. Simularam-se irrigações para fevereiro e julho mediante a realização de balanço hídrico diário, para 21 e 20 anos, respectivamente, de dados meteorológicos de Ribeirão Preto (SP). Para cada mês, anotaram-se os intervalos entre irrigações e calculou-se a frequência de ocorrência. Os resultados permitem ao usuário obter graficamente o intervalo entre irrigações, para mês, lâmina, coeficiente de cultura e porcentagem de ocorrência desejada.

Termos de indexação: intervalo entre irrigações, projeto de irrigação, balanço hídrico.

ABSTRACT

METHODOLOGY FOR CALCULATING INTERVAL OF SUPPLEMENTARY IRRIGATION

This work develops a methodology for estimating supplementary irrigation requirement in tropical and subtropical regions. Irrigations were simulated for February and July through simple water balance technique, based on 21 and 20 years, respectively, of meteorological data from Ribeirão Preto, State of São Paulo, Brazil. In order to attend different situations of crops and soils, five levels of allowable soil water depletion (ASWD) and two crop coefficients (kc) were chosen. For each month, irrigation intervals were annotated and its relative frequency calculated. The results allowed to design graphically the irrigation interval, for each month, as a function of: irrigation depth; crop coefficient; and probability level adopted in a project.

Index terms: irrigation intervals, irrigation design, water balance.

⁽¹⁾ Parte da tese da autora, submetida à ESALQ/USP para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, área de concentração Irrigação e Drenagem. Trabalho apresentado no XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19-23 de julho de 1993, em Ilhéus (BA). Recebido para publicação em 11 de maio de 1994 e aceito em 22 de fevereiro de 1995.

⁽²⁾ Seção de Irrigação e Drenagem, Instituto Agrônomo (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

1. INTRODUÇÃO

Um fator crítico para o sucesso agrônômico de projetos de irrigação é o intervalo entre irrigações que, de acordo com a literatura clássica, nacional e internacional, deve ser calculado dividindo-se a lâmina líquida de irrigação pela evapotranspiração da cultura (Israelsen & Hansen, 1965; Bernardo, 1982; Doorenbos & Pruitt, 1984). A maioria dos autores, porém, não deixa bem claro quanto à escolha do valor da evapotranspiração potencial a ser utilizado. A falta de dados mais elaborados de evapotranspiração leva à utilização de valores médios mensais. Tais valores subestimam, possivelmente, a necessidade de água para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação em condições de clima subtropical (Arruda & Barroso, 1984), por incluir em seu cálculo as baixas evaporações dos dias chuvosos e nublados.

Outro aspecto a considerar: desenvolve-se a maior parte dos projetos de irrigação no Brasil visando suprir integralmente as necessidades hídricas das culturas, desconsiderando a contribuição das chuvas. Esse procedimento é adequado a regiões áridas; deve, porém, superestimar a demanda para irrigação em regiões tropicais ou subtropicais. No Estado de São Paulo, segundo Schroder (1956), ocorrem precipitações significativas em todos os meses, as quais, se consideradas, podem reduzir a utilização da irrigação.

Avanço expressivo foi introduzido por Doorenbos & Pruitt (1984), recomendando o uso de valores probabilísticos de evapotranspiração. Esses autores sugerem também alguns tratamentos estatísticos aos dados de precipitação mensal, os quais, contudo, não foram suficientemente estudados em regiões tropicais e subtropicais para que se recomende seu amplo uso.

Pires et al. (1988), analisando 82 irrigações realizadas em cinco anos de experimentação com rami, em Campinas, relacionaram os intervalos entre irrigações à sua porcentagem de ocorrência para recomendá-las.

Zazueta et al. (1989) determinaram a distribuição temporal e espacial de intervalos entre irrigações para nove locais do Estado da Flórida, nos

Estados Unidos da América, utilizando valores médios mensais para o cálculo da evapotranspiração.

Saad (1990) analisou a distribuição de frequência de uma longa série diária de evapotranspiração de referência e precipitações para a região de Piracicaba. Visando ao dimensionamento de sistemas de irrigação, o autor recomenda subtrair a precipitação da evapotranspiração de referência, embora esses elementos tenham diferentes tipos de distribuição de probabilidade.

Este estudo tem por objetivo desenvolver um método de cálculo do intervalo entre irrigações, levando em consideração a interferência das chuvas, com base na simulação das irrigações em série histórica de dados climáticos e sua ocorrência probabilística.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Obtiveram-se dados de precipitação e evaporação no posto meteorológico da Estação Experimental do Instituto Agrônômico (IAC), localizado em Ribeirão Preto. Para o desenvolvimento do método, selecionaram-se duas épocas típicas do ano: fevereiro e julho. Para fevereiro, utilizaram-se dados de 1969 até 1985 e de 1987 a 1990; para julho, de 1969 a 1980, 1982 a 1988 e 1990.

Estimou-se a evapotranspiração de referência por meio da evaporação do tanque classe A, corrigindo-a pelo coeficiente do tanque, segundo o método da FAO (Doorenbos & Pruitt, 1984), pela seguinte equação:

$$ET_o = K_p \times E_{\text{tanque}} \quad (1)$$

onde:

ET_o : evapotranspiração de referência (mm/dia);
 K_p : coeficiente do tanque classe A (adimensional);
 E_{tanque} : evaporação do tanque classe A (mm/dia).

Efetou-se a simulação das irrigações, em cada ano, com base diária dentro de cada um dos meses e anos estudados. Para tanto, realizou-se um balanço hídrico seriado (de massas de água no solo), considerando o consumo de água pela cultura, o armazenamento de água no solo e as precipitações ocorridas, conforme Camargo (1962).

O consumo diário de água no solo foi estimado pela evapotranspiração máxima das culturas, calculada de acordo com Doorenbos & Kassam (1979):

$$ET_m = kc \times ETo \quad (2)$$

onde:

ET_m: evapotranspiração máxima (mm/dia); kc: coeficiente de cultura; ETo: evapotranspiração de referência (mm/dia).

Para possibilitar a abrangência de situações e aplicações dos resultados da simulação das irrigações, utilizaram-se dois valores distintos de kc: 0,5 e 1,0, e cinco lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS): 10, 20, 30, 40 e 50 mm.

A simulação teve início no começo do mês e considerou o armazenamento de água no solo completo (capacidade de campo). A partir daí, a precipitação foi somada como entrada de água e a evapotranspiração máxima, como saída no balanço hídrico. Quando a precipitação somada ao balanço hídrico excedeu o valor de reposição de água no solo proposto, considerou-se o valor em excesso como perda por drenagem ou percolação profunda, reiniciando-se o balanço hídrico. Realizaram-se as irrigações quando esgotada completamente a lâmina de consumo admissível de água no solo. Para o modelo proposto, nessa primeira aproximação, admitiu-se que não ocorrem perdas por escoamento superficial, alimentação superficial por enxurrada, ou subsuperficial de água por ascensão capilar. Procedimento similar de idealização de irrigações e de simulações tem sido utilizado por vários autores, como Bernardo & Hill (1978) e Smajstrla & Zazueta (1988).

Para cada irrigação simulada, anotou-se o intervalo entre irrigações e calculou-se a frequência de ocorrência do evento por probabilidade empírica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios mensais de precipitação e evapotranspiração ocorridos na Estação Experimental de Ribeirão Preto, de 1969 a 1990, encontram-se no quadro 1. Pode-se verificar que os meses sele-

cionados, fevereiro e julho, são representativos de períodos úmido e seco respectivamente. Observa-se grande variação nos valores de precipitação, com coeficientes de variação de 51,8% para fevereiro, e de 113,2% para julho. Os valores de evapotranspiração apresentam menor variação que a precipitação mensal, porém ainda elevados, sendo 23,5 e 17,3%, respectivamente, para fevereiro e julho. Quanto maior forem essas variações, tanto maior serão as diferenças entre os valores médios e os observados em condições reais de uso da irrigação no campo.

A frequência de ocorrência dos intervalos entre irrigações por simulação para fevereiro e julho é apresentada, respectivamente, nos quadros 2 e 3, para as diferentes combinações de lâminas de CAAS e kc previamente estipulados. Os intervalos registrados para as irrigações simuladas foram variáveis nos diferentes anos e meses analisados.

Fevereiro apresentou intervalos entre irrigações distribuídos em valores menores que julho, para as diferentes situações simuladas (Quadros 2 e 3), em decorrência dos maiores valores de ETo característicos de fevereiro. Por outro lado, o maior número de irrigações encontrados para julho deve-se às menores precipitações características a esse mês (Quadros 1, 2 e 3).

É interessante observar - Quadros 2 e 3 - que aumentos proporcionais de CAAS e kc produzem, aproximadamente, os mesmos resultados de frequências para cada intervalo entre irrigações. Segundo Pires (1992), para as várias combinações de CAAS e kc, os resultados de frequências de ocorrência de número, intervalo e lâmina de irrigação foram praticamente os mesmos. Dessa forma, sugeriu-se a simplificação do efeito de CAAS e kc, considerando-se como lâmina de irrigação a relação CAAS/kc. Observação similar foi feita por Zazueta et al. (1989) para o Estado da Flórida, nos E.U.A.

As frequências de ocorrência acumuladas dos intervalos entre irrigações para as várias combinações de lâminas de CAAS e kc são apresentadas nas figuras 1 e 2, para fevereiro e julho respectivamente.

Seus dados têm por base os dos quadros 2 e 3, respectivamente, porém com os valores de frequência acumulados e com as lâminas de irrigação representando a relação CAAS/kc. Os valores de

probabilidade foram calculados empiricamente através de sua frequência de ocorrência, sem ajustes estatísticos, não eliminando, portanto, a variação natural dos resultados.

Quadro 1. Precipitação e evapotranspiração total mensal, ocorridas em 22 anos, em fevereiro e julho, no Posto Meteorológico da Estação Experimental de Ribeirão Preto, Instituto Agronômico

Ano	Precipitação		Evapotranspiração	
	Fevereiro	Julho	Fevereiro	Julho
	mm			
1969	122,6	9,2	93,5	75,8
1970	392,4	20,0	64,1	67,0
1971	167,2	35,1	102,0	66,7
1972	384,4	126,8	59,5	68,9
1973	208,7	15,9	95,4	77,3
1974	121,0	0	128,2	94,5
1975	190,2	27,2	102,7	93,2
1976	314,7	104,1	103,1	75,4
1977	91,3	3,2	134,2	99,0
1978	133,1	63,7	126,9	73,6
1979	227,6	24,9	157,4	74,2
1980	356,7	0	87,2	77,4
1981	35,9	—	122,5	—
1982	159,4	30,2	96,5	68,3
1983	353,4	65,1	83,2	77,0
1984	86,8	4,3	137,5	107,7
1985	130,7	0,5	126,6	118,4
1986	—	48,7	—	81,1
1987	369,0	29,8	92,3	94,5
1988	287,0	0	86,2	87,4
1989	338,0	—	90,4	—
1990	144,4	12,9	112,6	75,1
Média	219,7	31,1	104,9	82,6
Desvio-padrão	113,8	35,2	24,6	14,3

Quadro 2. Frequência de ocorrência dos intervalos entre irrigações, em 21 anos de simulações, com dois coeficientes de cultura (kc) e cinco lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS), em fevereiro, em Ribeirão Preto

Intervalo entre irrigações (dias)	Frequência de ocorrência (%)									
	kc = 0,5					kc = 1,0				
	CAAS (mm)					CAAS (mm)				
	5	10	15	20	25	10	20	30	40	50
2	32,9	-	-	-	-	28,3	-	-	-	-
3	48,7	-	-	-	-	43,5	-	-	-	-
4	11,8	17,9	-	-	-	18,8	15,2	-	-	-
5	5,3	32,1	-	-	-	5,9	24,2	-	-	-
6	1,3	21,4	16,7	-	-	3,5	30,3	14,3	-	-
7	-	17,9	41,6	-	-	-	18,2	23,7	-	-
8	-	7,1	16,7	-	-	-	9,1	9,5	18,2	-
9	-	0	0	25,0	-	-	3,0	14,3	18,2	-
10	-	3,6	0	50,0	-	-	-	4,8	18,2	-
11	-	-	0	25,0	25,0	-	-	4,8	0	33,2
12	-	-	16,7	-	50,0	-	-	9,5	0	16,7
13	-	-	0	-	25,0	-	-	4,8	18,2	0
14	-	-	8,3	-	-	-	-	0	0	0
15	-	-	-	-	-	-	-	4,8	0	16,7
16	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
17	-	-	-	-	-	-	-	9,5	0	0
18	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1	0
19	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
20	-	-	-	-	-	-	-	-	0	16,7
21	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1	0
22	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
23	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
24	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
25	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
26	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
27	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1	0
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,7
Total ⁽¹⁾	76	28	12	4	4	85	33	21	11	6

(¹) Número de irrigações realizadas.

Quadro 3. Frequência de ocorrência dos intervalos entre irrigações, em 20 anos de simulações, com dois coeficientes de cultura (kc) e cinco lâminas de consumo admissível de água do solo (CAAS), em julho, em Ribeirão Preto

Intervalo entre irrigações (dias)	Frequência de ocorrência (%)									
	kc = 0,5					kc = 1,0				
	CAAS (mm)					CAAS (mm)				
	5	10	15	20	25	10	20	30	40	50
3	29,6	-	-	-	-	28,1	-	-	-	-
4	38,3	-	-	-	-	32,8	-	-	-	-
5	24,2	6,2	-	-	-	30,4	6,1	-	-	-
6	5,5	17,2	-	-	-	4,7	16,7	-	-	-
7	0,8	26,5	-	-	-	0,8	30,3	2,4	-	-
8	0,8	25,0	5,1	-	-	0,8	15,2	4,9	-	-
9	0,8	12,5	10,3	-	-	0,8	12,1	4,9	-	-
10	-	7,8	15,4	7,4	-	0,8	7,6	22,0	6,9	-
11	-	1,6	25,6	3,7	-	0,8	4,5	14,7	0	-
12	-	1,6	20,5	7,4	4,6	-	0	19,6	10,3	4,5
13	-	1,6	0	18,5	0	-	1,5	2,4	17,1	0
14	-	-	12,8	18,5	0	-	3,0	12,2	20,6	0
15	-	-	0	14,9	4,6	-	0	0	10,3	9,1
16	-	-	0	0	18,1	-	0	2,4	3,5	18,2
17	-	-	0	7,4	18,1	-	0	2,4	3,5	13,7
18	-	-	5,1	7,4	13,6	-	0	7,3	6,9	9,1
19	-	-	0	3,7	9,1	-	1,5	2,4	0	13,7
20	-	-	0	0	4,6	-	1,5	0	3,5	0
21	-	-	2,6	3,7	0	-	-	0	0	0
22	-	-	0	0	4,6	-	-	0	3,5	4,5
23	-	-	0	0	0	-	-	0	6,9	9,1
24	-	-	2,6	0	13,6	-	-	0	0	0
25	-	-	-	3,7	0	-	-	0	0	0
26	-	-	-	0	0	-	-	0	0	9,1
27	-	-	-	0	0	-	-	0	0	0
28	-	-	-	3,7	0	-	-	0	0	4,5
29	-	-	-	-	4,6	-	-	0	3,5	0
30	-	-	-	-	0	-	-	2,4	0	0
31	-	-	-	-	4,6	-	-	-	3,5	4,5
Total ⁽¹⁾	128	64	39	27	22	128	66	41	29	22

(¹) Número de irrigações realizadas.

Pelas figuras 1 e 2, verifica-se que as curvas tendem a ser paralelas, pelo menos na porção de maior importância, de 100 a 50% de frequência acumulada, e que, devido ao menor número de irrigações para as maiores lâminas, há perda de consistência nos dados não ajustados para os níveis mais baixos de probabilidade.

Avaliando os procedimentos de cálculo e os resultados deste trabalho, acredita-se que, para proceder a uma análise de dados com boa qualidade, seria necessário um número de, pelo menos, 20 irrigações simuladas. Conseqüentemente, para análise das situações das maiores lâminas de CAAS, ou de menores probabilidades de ocorrência, seria necessário maior período de dados climáticos.

A relação obtida nas figuras 1 e 2 indica que, para cada lâmina e frequência de ocorrência acumulada, corresponde um intervalo entre irrigação. Essa frequência, em termos de projeto, corresponde à porcentagem de atendimento das irrigações.

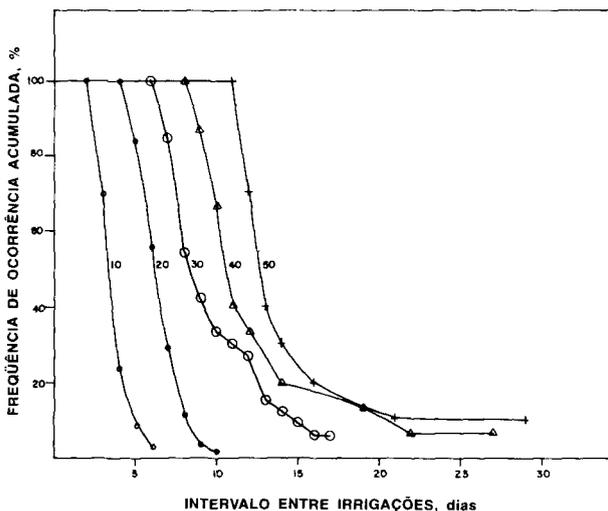


Figura 1. Frequência de ocorrência acumulada dos intervalos entre irrigações, resultante de 21 anos de simulação de irrigações, para fevereiro, em Ribeirão Preto (SP). As curvas 10, 20, 30, 40 e 50 representam o valor das lâminas de consumo admissível de água no solo, em mm, dividido pelo coeficiente de cultura (CAAS/kc).

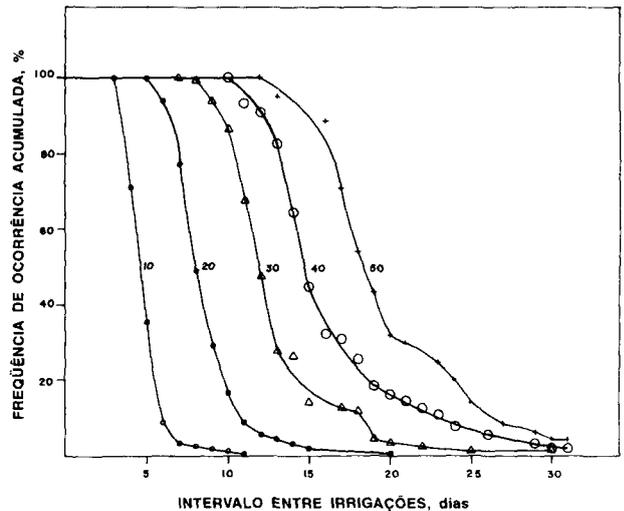


Figura 2. Frequência de ocorrência acumulada dos intervalos entre irrigações, resultante de 20 anos de simulação de irrigações, para julho, em Ribeirão Preto (SP). As curvas 10, 20, 30, 40 e 50 representam o valor das lâminas de consumo admissível de água no solo, em mm, dividido pelo coeficiente de cultura (CAAS/kc).

O valor máximo de frequência de ocorrência acumulada, 100%, representa a situação na qual a totalidade das necessidades hídricas das culturas é atendida no momento adequado. Assim, em julho, uma lâmina de 20 mm precisaria de um intervalo de cinco dias para atender a todas as situações de necessidade de irrigação (Quadro 2). No caso mais usual de tolerar alguma deficiência de atendimento, selecionar-se-iam valores probabilísticos menores que 100%. Essa seleção é feita com base no tipo e na fase de desenvolvimento da cultura e na experiência do projetista. Por exemplo, para julho, um projeto para irrigar uma cultura com lâmina de irrigação de 20 mm para atender a 80% das necessidades de irrigação em Ribeirão Preto (Figura 2), requer sete dias de intervalo entre irrigações.

A consideração da precipitação natural em projetos de irrigação pode contribuir diretamente no

dimensionamento dos sistemas de irrigação suplementar, com economia nos custos do sistema e na aplicação de água. A adoção de valores probabilísticos possibilita maior controle nas variações existentes nas situações de uso real do equipamento no campo. Acredita-se, portanto, que esses resultados aprimorem a qualidade do planejamento do uso e manejo das irrigações, uma vez que se calcula o valor do intervalo entre irrigações a partir da simulação de situações próximas às reais.

O método proposto constitui alternativa para se compararem outros métodos de cálculo de intervalos entre irrigações. Os resultados em função das simulações sugerem sua aplicação para os demais meses em Ribeirão Preto, assim como a verificação da possibilidade de aplicação para outros locais.

4. CONCLUSÃO

O método desenvolvido no presente trabalho mostrou-se promissor por incluir o efeito da precipitação, utilizar valores probabilísticos e simular o uso da irrigação de forma suplementar à precipitação, além de permitir a seleção do intervalo entre irrigações para projetos ou recomendações gerais de manejo, para as diferentes combinações de lâminas de irrigação e nível de probabilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Seção de Climatologia Agrícola, do Instituto Agrônomo, o fornecimento dos dados diários de umidade relativa e velocidade do vento, e totais médios mensais de precipitação e evapotranspiração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, F.B. & BARROSO, L.F.S. Estimativa do uso da água para fins de projetos de irrigação, em função da evaporação de tanque, em Ribeirão Preto. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):677-682, 1984.

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. Viçosa, Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 463p.

BERNARDO, S. & HILL, R.W. Um modelo para determinação de irrigação suplementar. *Revista Ceres*, Viçosa, **25**(140):345-362, 1978.

CAMARGO, A.P. de. Contribuição para a determinação de evapotranspiração no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **21**(1):163-213, 1962.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. *Yield response to water*. Rome, FAO, 1979. 193p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33)

DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. Rome, FAO, 1984. 144p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24)

ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. *Principios y relaciones del riego*. 2.ed. Barcelona, Ed. Riverté, 1965. 396p.

PIRES, R.C. de M. *Simulação da irrigação suplementar de culturas em Ribeirão Preto, São Paulo*. Piracicaba, 1992. 115p. Tese (Mestrado) - ESALQ/USP, 1992.

PIRES, R.C. de M.; ARRUDA, F.B.; BENATTI JUNIOR, R.; TOSELLO, R.N. & MEDINA, J.C. Rami: análise de cinco anos de irrigação e adubação em Campinas. *Bragantia*, Campinas, **47**(2):341-352, 1988.

SAAD, J.C.C. *Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação*. Piracicaba, 1990. 124p. Tese (Mestrado) - ESALQ/USP, 1990.

SCHRODER, R. Distribuição e curso anual das precipitações no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **15**(18):193-249, 1956.

SMAJSTRLA, A.G. & ZAZUETA, F.S. Simulation of irrigation requirements of Florida Agronomic Crops. *Soil and Crop Science*, Gainesville, **47**:78-82, 1988.

ZAZUETA, F.S.; SMAJSTRLA, A.G. & CLARK, G.A. Normalized irrigation intervals for Florida. *Soil and Crop Science*, Gainesville, **48**:96-99, 1989.