



Circular Técnica

Sete Lagoas, MG
Dezembro, 2001

Autores

Paulo Emílio Pereira de
Albuquerque
Eng.º. Agric., D.Sc.,
Embrapa Milho e Sorgo.
C.Postal 151.
CEP 35701-970,
Sete Lagoas, MG. E-mail:
emilio@cnpms.embrapa.br

Camilo de Lélis Teixeira
de Andrade
Eng.º. Agric., Ph.D.,
Embrapa Milho e Sorgo.
C.Postal 151.
CEP 35701-970,
Sete Lagoas, MG.
E-mail:
camilo@cnpms.embrapa.br



Planilha Eletrônica para a Programação da Irrigação de Culturas Anuais

1. Introdução

Atualmente, tem-se ampliado o debate sobre o uso da água. No setor agrícola, a água utilizada na irrigação tem passado a receber um tratamento especial, haja vista que é responsável por uma grande parcela do consumo total, pois, somente no Brasil, cerca de 61% de todo o suprimento de água doce é usado para a agricultura e a produção de alimentos (Rebouças, 1999).

A irrigação é fundamental para a produção de alimentos, em situação de deficiências de chuva e para estabilizar a produção agrícola, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Atualmente, a sexta parte das terras agrícolas do mundo é irrigada e fornece mais de um terço da produção global de alimentos.

A necessidade de alimentos de uma população mundial crescente acarretará obrigatoriamente um aumento da produção agrícola, que virá em grande escala das áreas irrigadas.

Como a disponibilidade de recursos hídricos para a irrigação está se tornando cada vez mais escassa, a água e o seu custo surgem como fatores limitantes à expansão da agricultura irrigada.

Apesar de a água consumida na irrigação representar um elevado percentual, se for utilizada de forma racional, é devolvida em quase sua totalidade ao sistema natural numa forma limpa, que é a evapotranspiração, diferentemente da água residual dos usos industriais e domésticos.

Entretanto, a eficiência do uso da água na produção agrícola é baixa. Somente 40 a 60% da água é efetivamente usada pela cultura (a maior parcela na forma de transpiração), o restante é perdido no sistema, na propriedade e no campo, seja através da evaporação, do escoamento superficial ou da percolação. Talvez parte dessas perdas possa ser repostas, mas custos adicionais serão envolvidos.

O manejo ou a programação inadequadas da água de irrigação é uma das principais razões para a baixa eficiência do uso da água. Há necessidade de criar, difundir e transferir tecnologias para os agricultores, de modo que esses passem a assimilar técnicas simples e fáceis de programar a irrigação das suas culturas.

2. Importância do manejo de irrigação

Uma gama de problemas ambientais advém do uso ineficiente da água, tais como inundação, lixiviação de agroquímicos e conseqüente poluição do lençol freático, assim como a sua salinização e a do solo, resultante de aplicações insuficientes de água.

O manejo de irrigação é o processo para decidir quando irrigar as culturas e quanto aplicar de água. Esse é o único meio para otimizar a produção agrícola e conservar a água, além de ser a chave para melhorar o desempenho e a sustentabilidade de sistemas de irrigação.

Para o manejo de irrigação, é necessário ter bons conhecimentos do requerimento de água das culturas e das características físico-hídricas do solo, para determinar quando irrigar e estabelecer com um certo grau de exatidão a água a aplicar (Albuquerque e Andrade, 2000).

O nível de tecnologia do produtor determinará a escolha da estratégia de manejo de irrigação. Grandes produtores e os que plantam culturas de alto valor econômico podem adotar e investir em técnicas mais sofisticadas. Por outro lado, mesmo agricultores que usam nível mais baixo de tecnologia podem usufruir de técnicas de manejo de irrigação, como a adoção de um calendário de irrigação baseado em condições médias de solo/clima/cultura ou um controle operacional simplificado, que pode se basear em intervalos fixos e aplicação constante de água.

Os problemas associados com o manejo de irrigação são razoavelmente conhecidos. No entanto, o uso de técnicas melhoradas de irrigação e de resultados de pesquisa fornecem uma grande variedade de meios para efetuar o manejo de irrigação. Apesar disso, a aplicação prática ainda está muito aquém do esperado (Albuquerque e Andrade, 2000).

3. Objetivos

Com a expansão da informática como uma ferramenta útil na tomada de decisão dos vários fatores inerentes à agropecuária, está se tornando cada vez mais fácil também usá-la como meio de estabelecer o manejo de irrigação de culturas. Dessa forma, os

objetivos principais do presente trabalho são:

- a) disponibilizar uma planilha eletrônica para fazer o manejo de irrigação de algumas culturas anuais, utilizando a técnica do balanço da água no solo, usando como dados de entrada a evaporação da água do tanque Classe A (ou a evapotranspiração de referência – ETo) e da precipitação pluviométrica diárias;
- b) flexibilizar a programação de irrigação do usuário, dentro da capacidade operacional do seu sistema, tendo em vista que a tomada de decisão de irrigar pode ser feita em qualquer dia; entretanto, deve-se enfatizar que a observação da reserva de água no solo é importante, para que a cultura não sofra déficit hídrico;
- c) fazer uso dessa mesma planilha para acompanhar o consumo de água e observar períodos de excesso (devido à chuva) e déficit de água (nos veranicos) em cultivos de sequeiro;
- d) também usar a planilha para simular a programação de irrigação (verificar as datas e lâminas prováveis de irrigação) com dados climáticos de séries históricas.

4. Metodologia

4.1. Balanço da água no solo

De forma semelhante à apresentada por Albuquerque e Andrade (2000), a técnica adotada para o manejo de irrigação é a do balanço de água no solo; entretanto a diferença desta versão em relação à primeira está na flexibilização da tomada de decisão, de modo que, apesar de ser indicada uma data para irrigar, o usuário tem a liberdade de irrigar em qualquer data escolhida, dentro de sua capacidade operacional, porém, o adiamento do dia de irrigar implica um aumento

do fator de risco à cultura, porque esta pode ser submetida a déficit hídrico. Dependendo do grau de exatidão e/ou precisão que se deseja, estimativas, medições ou inclusões de variáveis poderão ser efetuadas. Assim, será mostrado que uma opção para se fazer a programação da irrigação é através do uso de características físico-hídricas do solo, da medição da evaporação da água do tanque Classe A (ou pela estimativa da evapotranspiração de referência - ETo - por qualquer método) e da precipitação pluviométrica.

O balanço de água no solo é um método usado para prever a variação no conteúdo de água no solo na região ou no volume de solo que engloba o sistema radicular da cultura. Esse método normalmente considera uma condição de água no solo que não deve causar déficit ou excesso de água ao sistema radicular da cultura, contribuindo, portanto, para que ela obtenha o mais alto rendimento técnico. Por isso, o turno e as lâminas de irrigação assim obtidos podem variar continuamente ao longo do ciclo da cultura.

Desse modo, o balanço se baseia na equação de conservação de massa:

$$\Delta(\text{CAD} \times Z) = \text{Água que entra} + \text{Água que sai} \quad (1)$$

onde Δ representa variação, CAD é o conteúdo de água disponível e Z a profundidade do sistema radicular.

O CAD é uma fração da água total disponível (ATD) para as plantas, sendo a ATD definida pelo conteúdo de água no solo que está entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (Hillel, 1980).

É muito importante conhecer o CAD no dia do plantio, através de estimativas ou medições, para se poder fazer o balanço durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (Itier et al., 1996). Atualmente, tem-se recomendado irrigar no dia do plantio, de modo que o CAD atinja a ATD numa profundidade de pelo menos o dobro daquela da sementeira, ou seja, se a sementeira foi

feita a 5 cm de profundidade, o valor de Z para efeito de irrigação fica sendo de 10 cm pelo menos. No presente caso, o Z considerado para a irrigação do plantio foi o seu valor máximo ($Z_{\text{máx}}$) na superfície do solo, as variáveis que entram (+) e que saem (-) do balanço podem ser a chuva (+P), a irrigação (+I), o escoamento superficial (\pm ES) e a evapotranspiração real (-ETc). Abaixo da superfície do solo, têm-se a ascensão capilar (+AC) e a drenagem profunda (-D).

Na condição mais comum da ocorrência de um lençol freático mais profundo, o termo AC é desprezado, pois não há a sua contribuição para aumentar o conteúdo de água para a zona radicular.

A lâmina de irrigação (I), calculada sem excesso e aplicada a uma taxa dentro da velocidade de infiltração básica (VIB) do solo, não causa drenagem profunda nem escoamento superficial; portanto, tanto D quanto ES também podem ser desprezados. Entretanto, na ocorrência de precipitação (P) com valores mais elevados, haverá a ocorrência de D, assim como pode haver também ES, dependendo da intensidade de P. Para desprezar D e ES, deve-se, portanto, estimar a chuva efetiva (P_{ef}), ou seja, aquela que realmente contribui para suprir a cultura.

Para que não haja efeito sobre o desenvolvimento normal da cultura, a ETc não pode sofrer redução devido à diminuição da umidade do solo a tal ponto que possa dificultar a extração de água pelas raízes (Doorenbos e Pruitt, 1977). Uma irrigação que não prevê déficit hídrico para a cultura deve levar em conta um fator de depleção (p) da água no solo. O p define a água facilmente disponível (AFD), que é a fração da ATD ($0 < p < 1$) que não causará efeito negativo sobre o desenvolvimento da cultura. Desse modo, $\text{AFD} = p \times \text{ATD}$. O termo p é também chamado de fator de disponibilidade (f). O valor de p depende, basicamente, da cultura, do seu estágio de desenvolvimento e das condições do clima.

Levando em conta esses diversos aspectos, o presente trabalho considera a seguinte equação para o balanço de água no solo:

$$\Delta(ATD \times p \times Z) = I + P_{ef} - E_{Tc} \quad (2)$$

em que: Δ representa variação, ATD é água total disponível no solo (em mm de água/cm de solo), p é o fator de depleção ($0 < p < 1$), Z é a profundidade efetiva do sistema radicular (em cm), I é a lâmina de irrigação (em mm), P_{ef} a precipitação efetiva (em mm) e E_{Tc} a evapotranspiração da cultura (em mm).

4.2. Definição do turno e da lâmina de irrigação

O lado esquerdo da equação 2 [$\Delta(ATD \times p \times Z)$] representa o armazenamento de água que o solo comporta, até um valor mínimo admissível (p) dentro do volume de controle considerado, que, nesse caso, é o volume de solo que está limitado pela profundidade do sistema radicular. Essa expressão é que vai definir o turno ou a frequência de irrigação. Isto é, quanto menor o seu valor maior é a frequência e vice-versa.

O lado direito da equação 2 vai definir a lâmina de irrigação (I) em função do dia determinado para irrigar. Desse modo, observando a capacidade do solo em armazenar água, a lâmina líquida de irrigação (I) no dia determinado é dada por:

$$I = E_{Tc} - P_{ef} \quad (3)$$

Para a estimativa da precipitação efetiva (P_{ef}) é considerada, no presente caso, que toda precipitação pluviométrica seja infiltrada no solo e que o excesso de água que ultrapasse a sua capacidade de retenção de água, a partir da umidade real do solo no dia em questão, seja drenada além da zona radicular. Então, P_{ef} é estimada apenas pela lâmina que efetivamente pode contribuir para o consumo de água da cultura.

4.3. Estimativa da Água Total Disponível (ATD), do fator de depleção (p) e da profundidade efetiva do sistema radicular (Z)

Como já foi visto, para a obtenção da *Água Total Disponível (ATD)* do solo é necessário que se conheça a umidade do solo na *capacidade de campo (CC)* e no *ponto de murcha permanente (PMP)*. A relação entre a umidade do solo (θ) e o potencial matricial da água no solo (ψ_m) gera a chamada *curva de retenção* ou *curva característica* (Reichardt, 1996). Na prática, considera-se a *CC* de um solo com o seu potencial matricial de água (ψ_m) variando entre -10 e -30 kPa (faixa para solos de textura grossa a fina, respectivamente) e o *PMP* como -1500 kPa.

Para solos de diferentes texturas, Vermeiren e Jobling (1997) apresentam faixa de valores para algumas de suas características físico-hídricas (Tabela 1).

A utilização da Tabela 1 requer um certo cuidado, principalmente em solos que têm características físico-hídricas diferentes da regra geral para a textura. Por exemplo, os latossolos encontrados nos Cerrados normalmente possuem textura fina, que se comportam como solos de textura grossa (ATD entre 80 e 120 mm/m), em função da presença de óxidos de ferro, que favorecem a formação de agregados pequenos, bastante estáveis, de comportamento semelhante ao da areia (Resende et al., 1995).

A maioria das culturas produtoras de grãos (milho, feijão, trigo etc.) pode ter o valor de p em torno de 0,5-0,6, ou seja, usar 50-60% da água total disponível no solo. Entretanto, de acordo com as condições climáticas reinantes e com a fase do ciclo cultural, esse valor pode variar para mais ou para menos. Assim, a Tabela 2 fornece valores de p para algumas culturas em função da sua evapotranspiração máxima. O adiamento ou a antecipação da data de irrigação recomendada interferirá diretamente no valor de p , podendo torná-lo maior ou menor, respectivamente, em relação ao valor predefinido.

Tabela 1. Valores aproximados para algumas características físico-hídricas dos solos, segundo a sua classe textural (Vermeiren e Jobling, 1997).

Característica do solo	VM ¹ cm ³	Capacidade p ₁₀₀₀ ² cm ³	CC ³ g/g	VM ⁴ g/g	A ₁₀₀ ⁵ g/g	A ₁₅ ⁶ g/g
Areia pura	1,6 (1,3-1,9)	0,05 (0-0,1)	0,1 (0-0,2)	1,4 (1,2-1,6)	0,1 (0-0,2)	1,6 (1,3-1,9)
Areia arenosa	2,2 (1,7-2,7)	0,1 (0-0,2)	0,14 (0-0,3)	1,6 (1,4-1,8)	0,2 (0-0,4)	1,8 (1,3-2,3)
Areia	3,3 (1,8-5,0)	0,2 (0-0,3)	0,22 (0-0,5)	1,6 (1,4-2,1)	0,2 (0-0,4)	1,8 (1,4-2,0)
Areia-argilosa	4,4 (3,25-5,6)	0,3 (0-0,4)	0,3 (0,25-3,1)	1,5 (1-3)	0,3 (0-0,6)	1,8 (1,7-2,0)
Areia-argilosa	5,5 (3,10-8,0)	0,4 (0-0,5)	0,4 (0,25-0,4)	1,4 (1,2-1,6)	0,4 (0-0,6)	1,8 (1,6-2,0)
Argilosa	6,6 (3,0-10,1)	0,5 (0-0,6)	0,5 (0,25-0,4)	1,3 (1,1-1,5)	0,5 (0-0,6)	1,8 (1,6-2,0)

¹ VM = capacidade de água em volume. O primeiro valor representa a média aritmética, o segundo o intervalo de variação.
² CC = capacidade de água em peso expressada em água.
³ VM = capacidade de água em volume.
⁴ A₁₀₀ = água total disponível = CC - RMP.
⁵ A₁₅ = capacidade de água em profundidade de solo.

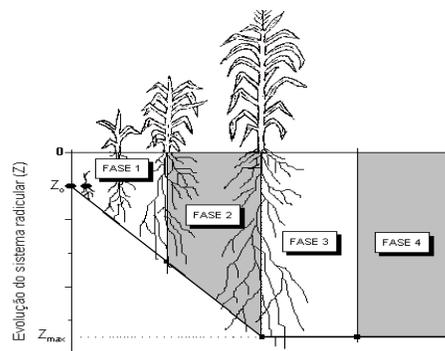


Figura 1. Estimativa do desenvolvimento do sistema radicular de culturas anuais em função das fases do ciclo da cultura (Z_0 é a profundidade de sementeira e Z_{max} é a profundidade efetiva do sistema em seu desenvolvimento máximo).

Segundo Arruda et al. (1987) e Brasil (1986), citados por Moreira (1993), a Tabela 3 apresenta valores para a profundidade efetiva média do sistema radicular de algumas culturas. Obviamente, esses valores são considerados na condição da cultura já ter atingido o seu pleno desenvolvimento. Na fase inicial, esses valores são estimados menores, pois o sistema radicular ainda está se desenvolvendo. No presente caso, o valor inicial de Z é considerado como a profundidade de sementeira (Z_0) e, a partir daí, é crescente linearmente dia-a-dia, até atingir o valor máximo (Z_{max}), que ocorrerá no início da fase 3 do ciclo vegetativo. O ciclo vegetativo é dividido em quatro fases e será discutido posteriormente. Desse modo, o desenvolvimento do sistema radicular é considerado nos cálculos da planilha na forma apresentada na Figura 1.

Tabela 2. Coeficiente de depleção (p) da água no solo para algumas culturas, de acordo com a evapotranspiração máxima (ET_m) (Doorenbos e Kassam, 1979).

Cultura	Evolução da depleção									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,425	0,35	0,30	0,25	0,225	0,20	0,18	0,175	0,175
2	0,575	0,5	0,425	0,38	0,35	0,325	0,30	0,275	0,25	0,225
3	0,65	0,575	0,50	0,45	0,425	0,40	0,375	0,35	0,325	0,30
4	0,725	0,65	0,575	0,52	0,48	0,45	0,425	0,40	0,375	0,35

¹ = milho, pinhão, milho; ² = feijão, amendoim, soja, algodão; ³ = arroz, milho, milho, milho, milho, milho, milho, milho, milho, milho; ⁴ = milho, milho, milho, milho, milho, milho, milho, milho, milho, milho.

Tabela 3. Profundidade efetiva média (Z) do sistema radicular de algumas culturas (Arruda et al., 1987 e Brasil, 1986, citados por Moreira, 1993).

Cultura	Z (cm)	Cultura	Z (cm)
Algodão	20	Pinhão, milho	30-35
Amendoim	30	Milho	20-30
Arroz, milho	50-60	Milho, milho	30
Arroz	30-35	Milho	10-30
Batata	40	Milho, milho	30
Batata	20-30	Milho	40-50
Cana	30	Milho, milho	20-30
Canola, milho	50-70	Milho	30-40
Canola	20	Milho	30

Na realidade, pode ser que o Z seja mais raso ou mais profundo do que se supõe. Então, devem-se enfatizar os seguintes pontos: a) se o Z estiver mais raso, supondo que esteja mais profundo, isso significa que o solo na zona radicular ficará seco por mais tempo, com irrigações menos freqüentes; b) se o Z estiver mais profundo, supondo que esteja mais raso, isso significa que o solo na zona radicular permanecerá sempre úmido, com irrigações mais freqüentes.

4.4. Estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc)

A estimativa da ETc diária, no presente caso, é baseada na evaporação de água do tanque Classe A (ECA), através da seguinte relação:

$$ETc = Kc \times Kt \times ECA \quad (4)$$

Os parâmetros adimensionais Kc e Kt são, respectivamente, os coeficientes da cultura e do tanque. O produto Kt x ECA do lado direito da equação representa a evapotranspiração de referência (ET0). Os valores de Kt podem ser obtidos em publicações especializadas, como Doorenbos e Pruitt (1977) e Allen et al. (1998), os quais são função do raio de bordadura do tanque (R), conforme está especificado na Figura 2, da umidade relativa do ar (UR) e da velocidade do vento (v), obtidos por ocasião da coleta da evaporação da água do tanque (ECA). Esses valores estão reproduzidos na Tabela 4.

Com os dados da Tabela 4, Snyder (1992) desenvolveu a seguinte equação para permitir a interpolação dos valores tabelados de Kt, na condição de tanque exposto, em condição de bordadura de cobertura vegetal (caso A da Figura 2):

$$Kt = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(R) - 0,000376 \cdot u + 0,0045 \cdot UR \quad (5)$$

em que:

Kt = coeficiente do tanque;

R = raio de bordadura do tanque (m);
 u = velocidade do vento média (km/dia);
 UR = umidade relativa do ar média (%).

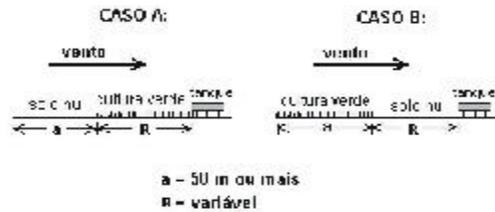


Figura 2. Raio de bordadura (R) do tanque Classe A em duas condições: em cultura verde (caso A) e em solo nu (caso B).

Também para obtenção dos valores de Kc, há publicações especializadas (como a de Doorenbos e Pruitt, 1977, e Allen et al., 1998) que os fornecem, os quais são variáveis de acordo com o tipo de cultura, o seu estágio de crescimento e condições climáticas reinantes. Para as culturas anuais, os valores de Kc podem variar na forma apresentada pela Figura 3, de acordo com o seu estágio, sendo que os valores mínimos e máximos dependem também das condições climáticas locais.

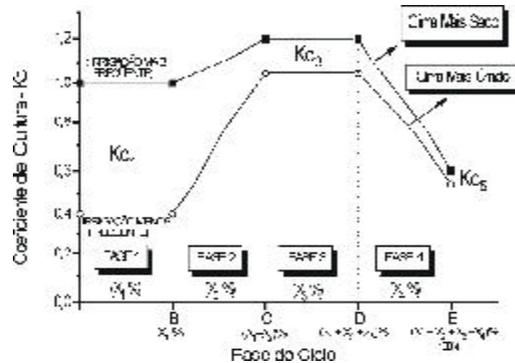


Figura 3. Valores estimados para o coeficiente de cultura (Kc), segundo o manual FAO-24 (Doorenbos e Pruitt, 1977) e FAO-56 (Allen et al., 1998), para cada fase do ciclo de crescimento. Para facilitar a escolha dos valores dentro da faixa apresentada, deve-se orientar pelas equações 6, 7 e 8 e Tabelas 5 e 6.

Tabela 4. Valores do coeficiente do tanque Classe A (K_t), segundo as condições do seu raio de bordadura (R), velocidade média do vento (v) e umidade relativa média do ar (UR) de 24 h predominantes no período de leitura da evaporação (Doorenbos e Pruitt, 1977).

UR*	Classe A: Tanque exposto em local aberto com vegetação rasteira				Classe B: Tanque exposto em local aberto			
	Baixa < 10	Média 10-30	Alta 30-70	> 70	Baixa < 10	Média 10-30	Alta 30-70	> 70
Velocidade média (m/s)	0-10				10-20			
Classe	III				II			
10-15	0,55	0,55	0,55	0,55	1	0,70	0,80	0,85
15-20	0,65	0,75	0,85	0,85	10	0,60	0,70	0,80
20-25	0,70	0,80	0,85	0,85	100	0,55	0,65	0,75
25-30	0,75	0,85	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
30-35	0,80	0,90	0,85	0,85	1	0,65	0,75	0,80
35-40	0,85	0,90	0,85	0,85	10	0,55	0,65	0,75
40-45	0,90	0,85	0,80	0,80	100	0,50	0,60	0,65
45-50	0,95	0,85	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
50-55	0,95	0,80	0,75	0,75	1	0,60	0,65	0,70
55-60	0,95	0,75	0,70	0,70	10	0,50	0,60	0,65
60-65	0,95	0,70	0,65	0,65	100	0,45	0,50	0,55
65-70	0,95	0,65	0,60	0,60	1000	0,40	0,45	0,50
70-75	0,95	0,60	0,55	0,55	1	0,45	0,50	0,55
75-80	0,95	0,55	0,50	0,50	10	0,40	0,45	0,50
80-85	0,95	0,50	0,45	0,45	100	0,35	0,40	0,45
85-90	0,95	0,45	0,40	0,40	1000	0,30	0,35	0,40

As equações seguintes foram usadas para estimar o coeficiente de cultura inicial (K_c), de acordo com a demanda evaporativa (Tabela 5) e com o turno de irrigação variando de 1 a 6 dias (TI):

$$K_{c1} = a + b.TI \tag{6}$$

em que:

- K_{c1} = coeficiente de cultura para a Fase 1;
- TI = turno de irrigação na Fase 1 (dias, $1 \leq TI \leq 6$ dias);
- a = coeficiente para a intersecção em $TI = 0$ (Tabela 5);
- b = coeficiente para a declividade da reta (Tabela 5).

Tabela 5. Valores dos coeficientes “a” e “b” da equação 6, que prediz o coeficiente de cultura na fase 1 (K_{c1}) do ciclo fenológico de culturas anuais, segundo a demanda evaporativa predominante.

Demanda Evaporativa	Evaporação de referência (ET_0) - mm/dia		a	b
	Baixa	Média		
Baixa	$ET_0 \leq 2,5$		1,17857	-0,07496
Média	$2,5 < ET_0 \leq 5$		1,08333	-0,08333
Alta	$5 < ET_0 \leq 7,5$		0,95333	-0,08333
Muito Alta	$ET_0 > 7,5$		0,90333	-0,08333

A equação 6 foi gerada através de ajuste realizado nas curvas apresentadas de $K_c \times ET_0 \times TI$, por Doorenbos e Pruitt (1977), adaptadas à nova metodologia para a obtenção do K_{c1} , segundo Allen et al. (1998), para qualquer cultura anual na fase 1 do seu ciclo de desenvolvimento.

Os valores do K_c para a fase 3 (K_{c3}) foram obtidos a partir de uma condição padrão (umidade relativa mínima de 45% e velocidade do vento, a 2 m de altura, igual a 2 m/s), segundo Allen et al. (1998), para as diversas culturas mostradas na planilha (Tabela 6). As correções para a classe de demanda evaporativa (Tabela 5) foram feitas de acordo com a equação:

$$K_{c3} = K_{c3}(tab) + [0,04.(u_2 - 2) - 0,004.(UR_{min} - 45)].(h/3)^{0,3} \tag{7}$$

em que:

- K_{c3} = valor do coeficiente de cultura para a fase 3, corrigido segundo a demanda evaporativa;
- $K_{c3}(tab)$ = valor do K_{c3} para uma condição padrão (Tabela 6);
- u_2 = valor médio da velocidade do vento diário a 2 m de altura acima da grama, durante a fase 3 (m/s), sendo $1 \leq u \leq 6$ m/s;
- UR_{min} = valor médio da umidade relativa mínima diária durante a fase 3 (%), sendo $20 \leq UR_{min} \leq 80\%$;

5.5. Descrição dos parâmetros incorporados na planilha

a) Considerações gerais

Utilizou-se a planilha eletrônica *Excel*, da *Microsoft*[®], para a entrada, processamento e saída dos dados.

O arquivo (pasta de trabalho) possui três planilhas, segundo o grupo de cultura:

- 1) Leguminosas e Oleaginosas;
- 2) Cereais e Fibras;
- 3) Hortaliças.

É importante que se faça cópia da planilha matriz toda vez que se necessite implantar um novo cultivo a ser irrigado.

A planilha é composta de 13 colunas visíveis (de A a M) e de tantas linhas quantas forem necessárias, dependendo do número total de dias do ciclo da cultura. Por exemplo, para o caso do milho, com o seu ciclo cultural variando de 125 a 180 dias, o número total de linhas vai variar de 151 a 206, respectivamente. No caso das leguminosas e oleaginosas e hortaliças, há espaço disponível para uma cultura com ciclo de até 180 dias, o que corresponde a um total de 206 linhas e, no caso dos cereais e fibras, há espaço para até 200 dias (226 linhas).

As células possuem sete cores diferentes: *branca*, *verde-escuro*, *cinza*, *amarela-clara*, *laranja (abóbora)*, *azul-clara* e *verde-clara*. Além dessas, há quatro cores de tons fortes (vermelha, amarela, verde e azul) para identificar as demandas evaporativas (4-muito alta, 3-alta, 2-moderada e 1-baixa, respectivamente).

As seguintes características são observadas, de acordo com a convenção de cores utilizadas na planilha:

À exceção das células *amarela-claras* e *laranjas*, todas as células estão protegidas, inclusive através de senha, contra qualquer tipo de alteração. Além disso, algumas têm o conteúdo oculto.

Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente
Coeficiente de cultura (Kc) em função da altura (h) da cultura
Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente e do coeficiente de cultura (Kc)
Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente, do coeficiente de cultura (Kc) e da altura (h) da cultura
Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente, do coeficiente de cultura (Kc) e da altura (h) da cultura (com vento)
Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente, do coeficiente de cultura (Kc) e da altura (h) da cultura (com vento e umidade relativa mínima)
Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente, do coeficiente de cultura (Kc) e da altura (h) da cultura (com vento e umidade relativa mínima e velocidade do vento)
Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente, do coeficiente de cultura (Kc) e da altura (h) da cultura (com vento e umidade relativa mínima e velocidade do vento e direção do vento)
Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente, do coeficiente de cultura (Kc) e da altura (h) da cultura (com vento e umidade relativa mínima e velocidade do vento e direção do vento e velocidade do vento em função da altura)
Demanda evaporativa (E) em função da temperatura ambiente, do coeficiente de cultura (Kc) e da altura (h) da cultura (com vento e umidade relativa mínima e velocidade do vento e direção do vento e velocidade do vento em função da altura e direção do vento)

4	Período de crescimento (Número de Demandas evaporativas (E) em função da altura (h) da cultura)
5	Amplitude (valor máximo - valor mínimo) da demanda evaporativa (E) em função da altura (h) da cultura
6	Período de maturação (valor máximo - valor mínimo) da demanda evaporativa (E) em função da altura (h) da cultura
7	Período de maturação (valor máximo - valor mínimo) da demanda evaporativa (E) em função da altura (h) da cultura (com vento)

Tabela 6. Valores da faixa de duração total do ciclo, do percentual de duração das fases (conforme Figura 3), dos coeficientes de cultura na fase 3 do ciclo vegetativo (Kc_3) e das alturas (h) das culturas anuais utilizadas na planilha, de acordo com uma condição climática padrão de umidade relativa mínima (UR_{min}) de 45% e velocidade do vento a 2 m de altura (u_2) de 2 m/s (Allen et al., 1998).

Cultura	Duração total do ciclo		Porcentagem de duração das fases				Altura máxima da cultura no final do ciclo (m)
	1 (dias)	2 (dias)	1	2	3	4	
Leguminosas e Oleaginosas							
Arroz	120 - 150	22 - 25	54	12	1,5	0,4	
Canola	120 - 170	17 - 27	36	22	1,5	1,0	
Feijão	70 - 110	16 - 25	40	13	1,5	0,4	
Soja	70 - 100	20 - 25	27	16	1,65	0,4	
Grão-de-bico	120 - 140	17 - 27	30	20	1,5	2,0	
Alfafa	120 - 150	15 - 25	37	22	1,5	2,2	
Soja	120 - 140	15 - 25	47	19	1,5	0,75	
Cereais e Fibras							
Alfafa	120 - 220	10 - 27	3	26	1,20	1,5	
Alfafa	120 - 220	10 - 27	4	27	1,2	1,5	
Canola	120 - 160	13 - 27	43	27	1,5	1,0	
Alfafa	120 - 125	12 - 27	23	22	1,00	1,5	
Alfafa	120 - 160	12 - 27	37	22	1,20	2,0	
Soja	120 - 140	12 - 27	33	22	1,20	1,0	
Trigo	120 - 160	13 - 27	43	27	1,2	1,0	
Hortaliças							
Alfafa	120 - 125	27 - 25	23	21	1,2	0,5	
Alfafa	20 - 15	28 - 45	75	31	1,20	0,5	
Canola	120 - 160	12 - 27	33	15	1,00	0,5	
Alfafa	120 - 120	12 - 27	22	15	1,2	0,5	
Alfafa	120 - 160	20 - 27	32	15	1,20	0,4	
Alfafa	120 - 160	20 - 27	32	15	1,00	0,4	
Alfafa	120 - 160	27 - 25	33	15	1,2	0,5	

As células que possuem um pequeno triângulo vermelho no canto superior direito têm uma descrição resumida do que representa a célula em questão. Para tal, deve-se posicionar o cursor exatamente sobre o triângulo.

A planilha está dividida em duas partes; a primeira, que corresponde às linhas 4 a 23, deve ter as suas células amarela-claras e/ou laranjas preenchidas com os parâmetros básicos de cultura, de solo e de clima; a segunda, que corresponde às linhas a partir da linha 25, deve ter as células amarela-claras preenchidas dia-a-dia, o que vai gerar nas células azul-claras e verde-claras os resultados referentes à cultura no dia em questão e se haverá necessidade de irrigação ou não, além das lâminas adicional e recomendada líquidas necessárias.

Além disso, há colunas ocultas (N a T) que são auxiliares para diversos cálculos. Essas serão descritas adiante e são preenchidas também automaticamente.

b) Descrição da primeira parte da planilha (colunas A a M, linhas 4 a 23)

As células a serem preenchidas são as amarela-claras e/ou laranjas, de acordo com o que é solicitado nas células cinzas do lado esquerdo. Todas as células amarela-claras obrigatoriamente deverão ser preenchidas, ressalvando-se essa obrigatoriedade apenas para as células pontilhadas J20, desde que todas as células laranjas F21, H21 e J21 sejam preenchidas, e a M20, desde que apenas a célula laranja F21 seja preenchida.



Linha 4 – Identificação da fazenda, proprietário, área, gleba de cultivo etc.

As linhas 6 a 10 referem-se a parâmetros da cultura, quer sejam tipo de cultura, data do plantio, duração total do ciclo, profundidade de semeadura e profundidade máxima efetiva do sistema radicular. Há três planilhas, segundo a classe de cultura, de modo que cada classe possui sete tipos de culturas diferentes:

I) Leguminosas e Oleaginosas: Amendoim, Canola (Colza), Feijão, Feijão Caupi, Girassol, Mamona e Soja;

II) Cereais e Fibras: Algodão, Aveia, Cevada, Milheto, Milho, Sorgo e Trigo;

III) Hortaliças: Batata, Cebola, Cenoura, Ervilha, Melancia, Melão e Tomate.

Linhas 6 e 7 – Escolha da cultura pelo número, conforme a listagem apresentada.

cultura:	FEIJÃO
Número da cultura	3

A data do plantio deve ser preenchida no formato *dd/mm/aa*. A duração total do ciclo da cultura deve ser prevista, o que depende do tipo de cultura, da época e da região do plantio. A profundidade de semeadura (Z_0) também deve ser indicada, assim como a profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z_{max}), cujos valores mais prováveis são também apresentados de acordo com o tipo de cultura.

Linhas 9 e 10 – Data do plantio, duração do ciclo, profundidade de semeadura (Z_0) e profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z_{max}).

data do plantio:	16/11/2001	duração do ciclo:	90
Z_0	4	Z_{max} :	30

As linhas 12 a 16 referem-se a parâmetros do solo, os quais são a capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP), a densidade (d), a umidade inicial do solo, o fator de depleção (p) e a capacidade total de água disponível (CTAD). CC e PMP já foram definidos e devem ter entrada na unidade % peso. A umidade inicial é aquela em que o solo se encontra no dia da semeadura; entretanto, havendo dificuldade na sua determina-

ção, pode ser considerado como se fosse o *PMP*, caso não tenham ocorrido chuvas nos dias anteriores ao plantio. O *p* é estimado para cada uma das quatro fases do ciclo da cultura, sendo que a Tabela 2 pode facilitar a escolha desse parâmetro. O *CTAD* (células G16 e H16) é calculado automaticamente, de acordo com a *CC*, o *PMP* e *d*.

Linhas 14 a 16 – Umidade do solo na capacidade de campo (*CC*) e no ponto de murcha permanente (*PMP*), densidade do solo, umidade inicial do solo (*Ui*), coeficiente de depleção ou esgotamento (*p*) e capacidade total de água disponível (*CTAD*).

	CC	PMP	Densidade	U _i	p	CTAD
14	0,25	0,15	1,25	0,10	0,20	0,9000
15						
16						

As linhas 18 a 23 referem-se a parâmetros do clima: demanda evaporativa do local (4-muito alta, 3-alta, 2-moderada e 1-baixa), turno de irrigação (*TI*) previsto para a fase 1 do ciclo da cultura, os coeficientes de cultura (*Kc*) opcionais (linha 21), o coeficiente do tanque Classe A (*Kt*) e os coeficientes de cultura (*Kc*) processados automaticamente. A linha 23 fornece automaticamente os valores da declividade da curva do *Kc* da fase 1 para a fase 3 e da fase 3 para a fase 4 (veja Figura 3).

Linhas 19 a 23 – A escolha da demanda evaporativa é feita conforme os comentários das células E20, F19, G19, H19 e I19 e o número referente (de 1 a 4) é colocado na célula J20. O turno de irrigação previsto para a fase 1 é posto na célula M20. O preenchimento das células J20 e M20 é desnecessário caso sejam preenchidos todos os valores de *Kc* na linha 21 (células laranjas). Se somente o valor do *Kc*(1) (célula F21) for preenchido, neste caso somente a célula M20 poderá ficar vazia. O valor do coeficiente do tanque Classe A é preenchido na célula F22 (ou E22, se for “hortaliças”), porém se o método de determinar a evapotranspiração de

referência (*ET_o*) for outro, digita-se o valor “1” (um). Os outros valores de *Kc* (células H22 ou G22, J22 ou I22 e K22) são de preenchimento automático, segundo a demanda evaporativa e *TI* inicial. Além disso, há o *Kc*(5) (célula K22) para “hortaliças”, cujos valores variam de acordo com o tipo de cultura. As declividades da reta entre os *Kc*(1) e *Kc*(3) e *Kc*(3) e *Kc*(5) são apresentadas na linha 23.

	ET _o	K _c (1)	K _c (2)	K _c (3)	K _c (4)	K _c (5)	K _t
18	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
19							
20							
21							
22							
23							

c) Descrição da segunda parte da planilha (colunas A a M, linha 25 em diante)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
25	DATA	DUR	TI										
26	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
28	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Como já foi frisado, somente as colunas que possuem células amarela-claras (F, G e L) serão preenchidas pelo usuário. As demais são preenchidas automaticamente, de acordo com os parâmetros de entrada das células amarela-claras.

Coluna A - representa a *data* que é preenchida automaticamente, a partir da entrada da data do plantio (célula G9) e duração total do ciclo (célula I9). Com as datas, há o acompanhamento da irrigação da cultura no dia-a-dia. A data se encerra no último dia da duração total do ciclo da cultura.

Coluna B – representa os *dias após a semeadura (DAS)*. Também é preenchida em função da data do plantio e duração total do ciclo. A data do plantio é o *DAS* = 0.

Coluna C - mostra uma das quatro fases do ciclo fenológico na qual a cultura se encontra. A divisão dessas quatro fases é baseada na Figura 3, segundo a duração total do ciclo da cultura.

Coluna D - apresenta o desenvolvimento do sistema radicular a partir da profundidade de semeadura (Z_0 – célula G10) até a profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z_{max} - célula I10). A evolução do desenvolvimento é baseada de tal forma que o seu desenvolvimento é linear e se completa no início da Fase 3, conforme está na Figura 1.

Coluna E - é o coeficiente de cultura (K_c), que também evolui como está mostrado na Figura 3. Para o K_c da Fase 1, é utilizada a célula H22 (ou G22, para as hortaliças), da Fase 3 a célula J22 (ou I22, para hortaliças) e um valor fixo de 0,35 para o K_c de colheita, exceto para hortaliças, que é variável de acordo com a célula K22.

Coluna F - é a de entrada dos dados referentes à evaporação da água do tanque Classe A (ECA), que é preenchida diariamente. Se se dispuser de dados da evapotranspiração de referência (ET_0) diretamente, então deve-se colocar o valor 1 para o coeficiente de tanque (K_t – célula F22 ou E22, se for hortaliças).

Coluna G - para a entrada dos dados referentes à precipitação pluviométrica (*chuva*) ocorrida diariamente. Para maior coerência nos resultados, devem-se preencher as colunas F e G com os valores do dia das medições de ECA e *chuva*, mesmo que a maior parte represente o dia anterior. Preferencialmente, essas medições devem ser feitas antes das nove horas da manhã e todos os dias no mesmo horário determinado.

Coluna H - mostra a *chuva efetiva*, que, no presente caso, significa toda a chuva infiltrada no solo e que reponha ao mesmo a sua umidade no máximo até a capacidade de campo (CC) no perfil de solo (Z) do dia observado. O que exceder além da CC é desprezado e o que ficar aquém é considerado. Aqui é levado em consideração que toda a chuva é infiltrada no solo.

Coluna I - é apresentada a necessidade ou não de irrigação no dia em questão. É preenchida automaticamente tão logo se entre com o valor de ECA ou ET_0 na coluna F.

Coluna J – mostra uma fração da lâmina de irrigação do plantio que não tenha sido coberta integralmente no dia do plantio, isto é, é a lâmina de água adicional necessária nas irrigações subseqüentes à irrigação do plantio, para que o solo na profundidade efetiva máxima do sistema radicular (Z) atinja a capacidade de campo (CC). O ideal é que esta lâmina seja coberta o mais rápido possível, uma vez que não foi possível aplicá-la completamente na data do plantio.

Coluna K – é a lâmina líquida de irrigação recomendada no dia em questão, é baseada no balanço da região onde existe o sistema radicular, por isso é menor nos primeiros dias e aumenta gradativamente com o crescimento do sistema radicular. O cálculo é baseado no balanço da água no solo (coluna auxiliar P), dentro de um fator de depleção (p) estabelecido, segundo a fase da cultura (células E15, G15, I15 e K15), e da evapotranspiração diária da cultura (coluna auxiliar Q). Como anteriormente discutido, esse balanço tem como base as equações 2 e 3. Diariamente é apresentada uma lâmina, independentemente se há recomendação de irrigação na coluna I.

Coluna L – é a lâmina líquida de irrigação que será digitada pelo usuário, ou seja, é a lâmina que efetivamente será utilizada ou aplicada na respectiva data e que, portanto, entrará nos cálculos do balanço. O ideal é que esta lâmina seja a soma da lâmina adicional (coluna J) com a lâmina recomendada do dia (coluna K). Se houver lâmina recomendada e/ou lâmina adicional e se não for digitado nenhum valor, o balanço ficará inalterado.

Coluna M – significa o percentual da reserva de água no solo do dia anterior (*rasda*). É a flutuação do fator de depleção (p) ou da

reserva de água do solo no dia-a-dia. Deve-se ter em mente que valores menores que 10% (< 10%) devem ser evitados e, caso ocorram em dias simultâneos, isso significa que a cultura está sofrendo severo déficit hídrico, havendo a necessidade de tomar a decisão de irrigar com urgência.

d) Descrição das colunas auxiliares (colunas N a T)

Para melhor estética da planilha, essas colunas se apresentam ocultas.

Coluna N – nas linhas 8 a 12 está a descrição para os cálculos no lado direito (coluna O) do percentual (em decimal) da duração das fases 1 a 4 do ciclo fenológico. Na linha 15 há a descrição para a altura máxima da cultura e, na linha 17, o coeficiente de cultura (K_c) na fase 3, para uma condição padrão de umidade relativa mínima de 45% e velocidade de vento (u_2) de 2 m/s, segundo Allen et al. (1998). Além dessas, há, a partir da linha 24, a apresentação diária da água total disponível (ATD) no solo, que é calculada em função da CTAD (célula G16) e dos valores diários de Z constantes na coluna D.

Coluna O – nas linhas 8 a 17, são realizados os cálculos conforme as descrições apresentadas na coluna N. A partir da linha 24, são apresentados os valores diários da água facilmente disponível (AFD) no solo, que é calculada pelo produto da ATD (coluna N) e o fator de depleção (ρ) estipulado para cada fase do ciclo cultural (células E15, G15, I15 e K15).

Coluna P - onde se realiza o balanço da água no solo propriamente dito, o qual é baseado nas equações 2 e 3. A chuva efetiva e a irrigação somadas são consideradas como parâmetros de entrada e a evapotranspiração da cultura (ETc), como parâmetro de saída do balanço. Todas as vezes que, no dia anterior, o balanço se tornar nulo ou for negativo, haverá necessidade de reposição de água no

solo até a sua capacidade de campo, ou seja, é recomendada a irrigação no dia em questão. No cálculo desse balanço, diariamente, a água é retirada da AFD no solo pelo consumo da ETc da cultura.

Coluna Q - representa a ETc diária, que é calculada segundo a equação 4, pelo produto da evaporação da água do tanque Classe A (ECA – coluna F), coeficiente do tanque (K_t – célula F22 ou E22 no caso das hortaliças) e os coeficientes da cultura diários (K_c – coluna E).

Coluna R – balanço realizado paralelo à coluna J, mas que possui maior dinamismo para auxiliar no balanço global na coluna P.

Coluna S – balanço realizado paralelo à coluna P, para que auxilie na recomendação de irrigar (sim ou não – coluna I).

Coluna T – balanço paralelo à coluna H, sem considerar a lâmina adicional necessária (coluna J) para auxiliar no balanço global na coluna P.

5. Algumas Considerações

Na elaboração da presente metodologia para programar a irrigação das culturas, embora tenha sido levado em conta todo o embasamento técnico-científico necessário, sempre optou-se pela escolha de coeficientes e/ou condições que contemplassem o fator segurança, ou seja, minimizar situações de risco que pudessem conduzir a cultura a algum tipo de estresse hídrico. Entretanto, algumas considerações devem ser feitas, haja vista que reduções das lâminas líquidas e/ou ampliações dos intervalos entre irrigações podem ser realizadas, desde que estudos mais detalhados possam ser feitos de tal forma a elucidar esses aspectos:

- a) as irrigações iniciais, principalmente do período que vai da semeadura até a emergência,

podem ter o intervalo entre elas ampliado, pela escolha de um maior coeficiente de depleção (p) da água no solo. Isso poderia favorecer um maior crescimento radicular, porque, uma vez que deverá haver umidade no solo em maior profundidade (devido à irrigação com lâmina maior no dia do plantio), isso possibilitaria a "busca" pela água em camadas mais profundas do solo. Alguns estudos (dentre eles, o de Albuquerque, 1997) comprovam que plantas submetidas a determinado grau de estresse hídrico na fase inicial tendem a aprofundar mais o sistema radicular em relação a plantas bem supridas de água nesse período. Por outro lado, um turno de irrigação (TI) maior na fase 1 do ciclo fenológico conduz a menores perdas por evaporação de água da superfície do solo, o que é ratificado pelo menor valor do coeficiente de cultura (Kc) quando se aumenta o TI nessa fase. No entanto, a decisão de alterar os valores de p ou TI deve ser tomada com muito cuidado, porque solos que formam encrostamento superficial ou têm baixa capacidade de retenção de água, combinada com condição climática de alta demanda evaporativa podem submeter as plântulas a estresses hídricos e/ou mecânicos severos, podendo até exterminá-las.

- b) A chuva excessiva para as plantas, ou seja, aquela fração da chuva que não é a efetiva, pode também contribuir com uma parcela de efetividade, porque, nos cálculos, o que está além da umidade da capacidade de campo

(CC) é desconsiderado; entretanto, dependendo do tempo de redistribuição da água no solo após a chuva, uma fração da água que fica acima da CC pode ser absorvida pelas raízes. Devido a isso, aumentar o valor da *chuva efetiva* no balanço da água no solo (porque é consequência de um suposto aumento da reserva de água no solo) significa um maior TI após a chuva e menor volume de água bombeada para irrigação no cômputo geral. Porém, estudos em diferentes condições devem ser realizados para obter a chuva real efetiva para a cultura após períodos de chuvas intensas.

- c) A decisão de irrigar a cultura após o dia recomendado afetará o valor de p , ficando cada vez maior, dia após dia, que o valor previamente estabelecido. Isso interfere diretamente na evapotranspiração da cultura (ETc), deixando de ser a sua condição potencial ou máxima (ETm). Como todos os cálculos na planilha são feitos em relação à ETm , mesmo que o p ultrapasse o seu valor preestabelecido, há uma superestimativa nos valores da lâmina líquida se a decisão de irrigação passar além do dia recomendado. Haveria necessidade de se conhecerem coeficientes de redução sobre a ETm toda vez que o p fosse ultrapassado; de qualquer modo, essa situação não é recomendável, pois a cultura, teoricamente, estaria sofrendo déficit hídrico e, dependendo da magnitude e do número de ocorrências, afetará negativamente a produtividade final e a qualidade do produto.

5. Agradecimentos

Às estagiárias *Denise de Freitas Silva* e *Cláudia Figueiredo Garrido Cabanellas* a contribuição para a melhoria na parte estética da planilha, tornando-a de apresentação mais agradável.

6. Literatura Citada

ALBUQUERQUE, P.E.P. **Evapotranspiração, balanços de energia e da água no solo e índices de estresse hídrico da cultura, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), submetido a diferentes frequências de irrigação.** 1997, 147 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrômicas, Botucatu, SP.

ALBUQUERQUE, P.E.P. **Requerimento de água das culturas para fins de manejo e dimensionamento de sistemas de irrigação localizada.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2000. 54p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 1).

ALBUQUERQUE, P.E.P.; ANDRADE, C.L.T. **Uso de planilha eletrônica para a programação da irrigação na cultura do milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2000. 24p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 5).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos.** Roma: FAO, 1979. 212p. (FAO. Estudio riego y drenaje, 33)

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements.** Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 24).

HILLEL, D. **Applications of soil physics.** New York: Academic Press, 1980. 385p.

ITIER, B.; MARAUX, F.; RUELLE, P.; DEUMIER, J.M. Applicability and limitations of irrigation methods and techniques. In: SMITH, M. et al. (Ed.). **Irrigation scheduling: from theory to practice.** Rome: ICID/FAO, 1996. p.19-32.

MOREIRA, H.J.C. **SAACI – Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas – manual prático para o manejo da irrigação.** Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 1993. 86p.

REBOUÇAS, A. da C. A água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. org. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escritura, 1999. cap.1, p.1-36.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas.** Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 513p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** Viçosa: UFV, NEPUT, 1995. 304p.

SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.118, p.977-980, 1992.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Irrigação localizada.** Tradução de H.R. Gheyi, F.A.V. Damasceno, L.G.A. Silva Jr., J.F. de Medeiros, Campina Grande, UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

Circular Técnica, 10



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Caixa Postal 151
35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3779-1000
Fax: (31) 3779-1088
E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2001): 500 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Ivan Cruz
Secretário-Executivo: Frederico Ozanan M. Durães
Membros: Antônio Carlos de Oliveira, Arnaldo Ferreira da Silva, Carlos Roberto Casela, Fernando Tavares Fernandes e Paulo Afonso Viana

Expediente

Supervisor editorial: José Heltor Vasconcellos
Revisão de texto: Dilermando Lúcio de Oliveira
Tratamento das ilustrações: Tânia Mara A. Barbosa
Editoração eletrônica: Tânia Mara A. Barbosa