

# Planilha eletrônica para programação da irrigação em sistemas de aspersão convencional, pivô central e sulcos

## Introdução

Numa agricultura moderna, desde aquela de grande escala, que utiliza altas tecnologias, até a de pequena escala, como a agricultura familiar, a irrigação pode ser uma tecnologia imprescindível para incrementar a produtividade das culturas. Deve, contudo, ser implementada com todos os cuidados requeridos para causar o menor impacto possível ao ambiente e ser sustentável por um longo período de tempo.

A racionalidade do uso da água de irrigação passa pela eficiência de distribuição da lâmina aplicada e pela programação bem planejada. A programação ou o manejo da irrigação nada mais é do que aplicar a água na quantidade e no momento requeridos pela cultura (Albuquerque, 2003).

Este trabalho tem como objetivo apresentar o manejo de irrigação, de acordo com a teoria apresentada em Albuquerque e Andrade (2001) e Albuquerque (2003), porém diversificando para os sistemas de sulcos, aspersão convencional e pivô central. A partir de uma lâmina bruta recomendada, obter-se-á o tempo de aplicação da água que passa nos sulcos ou o tempo de aplicação de água pelos aspersores ou a velocidade (em percentual) necessária do pivô para aplicá-la. Além disso, poderá haver a flexibilização da operação pelo usuário, dentro de sua capacidade, tendo em vista que a decisão de irrigação pode ser tomada em qualquer dia, observando-se a reserva de água do solo para que a cultura não sofra déficit hídrico.

## Teoria (Metodologia)

### a) Balanço da água no solo:

Assim como já descrito em Albuquerque e Andrade (2000), a técnica aqui empregada para o manejo da irrigação é a do balanço de água no solo. Entretanto, a diferença desta versão e de outras mais recentes (Albuquerque e Andrade, 2001; Albuquerque, 2003) em relação àquela 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 em um aumento do fator de risco à cultura porque esta pode ser submetida a déficit hídrico. Dependendo do grau de exatidão 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 determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (por qualquer método, inclusive pelo do tanque de evaporação Classe A) e da precipitação pluviométrica.

### Autores

Paulo E. P. de Albuquerque  
Eng. Agríc., D.Sc.,  
Pesquisador da Embrapa  
Milho e Sorgo, Cx. P. 151,  
CEP: 35701-970  
Sete Lagoas, MG.  
emilio@cnpms.embrapa.br

O balanço de água no solo é um método usado para prever a variação do conteúdo de água no volume de solo que engloba o sistema radicular da cultura. Esse método considera uma condição de água no solo que não causa déficit ou excesso de água ao sistema radicular da planta, 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  $\Delta$  representa variação, CAD é o conteúdo de água disponível e Z a profundidade do sistema radicular.

O CAD é uma fração do conteúdo da água total disponível (CTAD) para as plantas, sendo o CTAD definido 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 o CTAD numa profundidade de pelo menos o dobro daquela de semeadura, ou seja, se a semeadura 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 ( $Z_{\text{max}}$ ), além de que o perfil do solo pode ser dividido em até cinco camadas para obtenção do CTAD por camada.

Na superfície do solo, as variáveis que entram (+) e as 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 estimar a chuva efetiva ( $P_{\text{ef}}$ ), 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 (f) da água no solo. O f define a água facilmente disponível (CAFD), que é a fração da CTAD ( $0 < f < 1$ ) que não causará efeito negativo sobre o desenvolvimento da cultura. Desse modo, CAFD = f x CTAD. O termo f é também chamado de coeficiente de disponibilidade. O valor de f 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:

$$\Delta(\text{CTAD} \times f \times Z) = I + P_{\text{ef}} - \text{ETc} \quad (2)$$

Em que  $\Delta$  representa variação; CTAD é o conteúdo de água total disponível no solo (em mm de água/cm de solo); f é o coeficiente de disponibilidade ( $0 < f < 1$ ); Z é a profundidade do sistema radicular (em cm); I é a lâmina de

irrigação (em mm); Pef a precipitação efetiva (em mm) e ETc a evapotranspiração da cultura (em mm).

- b) Definição do turno e da lâmina de irrigação:

O lado esquerdo da equação 2  $[A(CTAD \times f \times Z)]$  representa o armazenamento de água que o solo comporta, até um valor mínimo admissível (f) 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:

$$I = ETc - Pef \quad (3)$$

Para a estimativa da precipitação efetiva (Pef) é considerada, no presente caso, que toda precipitação pluviométrica seja infiltrada no solo e que o excesso de água que ultrapasse a sua

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

Textura do solo	VIB <sup>1</sup> cm/h	Densidade g/cm <sup>3</sup>	CC <sup>2</sup> %peso	PMP <sup>3</sup> %peso	CTAD <sup>4</sup> %peso	CTAD <sup>5</sup> mm/m
Arenoso	5 (2,5-22,5)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	85 (70-100)
Franco-arenoso	2,5 (1,3-7,6)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	120 (90-150)
Franco	1,3 (0,8-2,0)	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	170 (140-190)
Franco-argiloso	0,8 (0,25-1,5)	1,35 (1,30-1,40)	27 (25-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	190 (170-220)
Silto-argiloso	0,25 (0,03-0,5)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	210 (190-230)
Argiloso	0,05 (0,01-0,1)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	230 (200-250)

<sup>1</sup>VIB = velocidade de infiltração básica. Primeiro valor representa a média e os valores entre parênteses representam a faixa de variação. <sup>2</sup> CC = umidade do solo na capacidade de campo. <sup>3</sup> PMP = umidade do solo no ponto de murcha permanente. <sup>4</sup> CTAD = água total disponível = (CC - PMP). <sup>5</sup> CTAD em lâmina de água por profundidade de solo

capacidade de retenção de água, a partir da umidade real do solo no dia em questão, seja drenada além da zona radicular. Então, Pef é estimada apenas pela lâmina que efetivamente pode contribuir para o consumo de água da cultura.

- c) Estimativa do Conteúdo de Água Total Disponível (CTAD), do coeficiente de disponibilidade (f) e da profundidade efetiva do sistema radicular (Z):

Como já visto, para a obtenção do CTAD 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 ( $\theta$ ) e o potencial matricial da água no solo ( $\psi_m$ ) gera a chamada curva de retenção ou curva característica (Reichardt, 1996). Na prática, considera-se a CC de um solo com o seu potencial 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 faixas 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 média (CTAD 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 umidade inicial ( $U_i$ ) é aquela em que o solo se encontra no dia do plantio. O ideal é obter o valor de  $U_i$  por algum processo, quer seja por tensiometria ou pelo método gravimétrico. No entanto, como na prática isso se torna difícil, há a possibilidade de estimar o seu valor através de análise visual, segundo três classes de umidade: 1) solo seco (no *PMP*); 2) solo semi-úmido (50% da *CAD*); 3) solo úmido (na *CC*).

A maioria das culturas graníferas (milho, feijão, trigo etc.) pode ter o valor de  $f$  em torno de 0,5-0,6, ou seja, usar 50-60% do conteúdo de 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  $f$  para algumas culturas em função de

sua evapotranspiração máxima. O adiamento ou a antecipação da data de irrigação recomendada interferirá diretamente no valor de  $f$ , podendo torná-lo maior ou menor, respectivamente, em relação ao valor predefinido.

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 admitido ser a profundidade de semeadura ( $Z_0$ ), cujo valor padrão adotado é 6 cm. A partir de  $Z_0$ , o sistema radicular cresce linearmente dia-a-dia até alcançar o valor máximo ( $Z_{max}$ ), que acontecerá 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 levado em conta nos cálculos da planilha na forma apresentada na Figura 1.

**Tabela 2.** Coeficiente de disponibilidade ( $f$ ) da água no solo para grupos de cultura e evapotranspiração máxima ( $ET_m$ ) (Doorenbos e Kassam, 1979).

Grupo de Cultura*	ETm (mm/dia)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,50	0,425	0,35	0,30	0,25	0,225	0,20	0,20	0,175	
2	0,675	0,575	0,475	0,40	0,35	0,325	0,275	0,25	0,225	
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,425	0,375	0,35	0,30	
4	0,875	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,425	0,40	

\* 1 – cebola, pimentão, batata;

2 – banana, repolho, uva, ervilha, tomate;

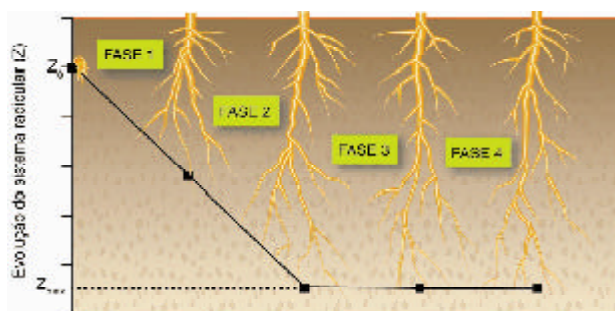
3 – alfafa, feijão, citrus, amendoim, abacaxi, girassol, melancia, trigo;

4 – algodão, milho, azeitona, açafrão, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar, fumo.

**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)
abacaxi	20	culturas perenes	50 – 70
algodão	30	feijão	20 – 30
amendoim	50 – 60	melancia, melão	30
arroz	20 – 30	milho	40 – 50
banana	40	pastagem	30
batata	20 – 30	soja	40 – 50
café	50	tomate, fumo	20 – 50
cana-de-açúcar	50 – 70	trigo	30 – 40
cebola	20	videira	50

Na realidade, pode ser que o Z seja mais raso ou mais profundo do que se supõe. Então, devem ser enfatizados 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.



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

- d) Estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc):

A estimativa da ETc diária pode ser determinada por qualquer método. A partir da

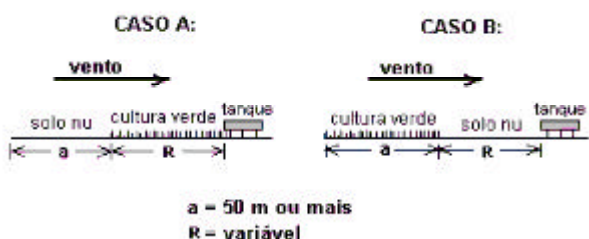
evapotranspiração de referência (ETo), pode-se obter a ETc por meio do produto daquela por um coeficiente de cultura (Kc). O método padrão atualmente recomendado para calcular a ETo é o de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO (Allen et al., 1998). Também a ETo pode ser previamente estimada por metodologia alternativa (como a de Resende et al., 2002).

No presente caso, será apresentado o método que estima a ETo pela medição da evaporação de água do tanque Classe A (ECA), cuja equação é a seguinte:

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

Os parâmetros adimensionais Kc e Kp são, respectivamente, os coeficientes da cultura e do tanque. O produto Kp x ECA do lado direito da equação 4 representa a ETo.

Os valores de Kp 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.



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

Em que:

- K<sub>p</sub> = coeficiente do tanque Classe A;
- R = raio de bordadura do tanque (m);
- U = velocidade do vento média (km/dia);
- UR = umidade relativa do ar média (%).

**Figura 2.** Casos A (bordadura com vegetação verde) e B (bordadura de solo nu), conforme a Tabela 4, para observação do raio de bordadura (R) em função da direção do vento dominante

Também para obtenção dos valores de K<sub>c</sub>, há publicações especializadas, como as de Doorenbos e Pruitt (1977) e Allen et al. (1998), que os fornecem para diferentes tipos de cultura,

**Tabela 4.** Coeficiente de tanque (K<sub>p</sub>) para diferentes condições de cobertura de solo, de níveis de umidade relativa média do ar e de vento de 24 h (Doorenbos e Pruitt, 1977).

Caso A: tanque exposto em local coberto com vegetação verde				Caso B: tanque exposto em local de solo nu				
UR* média (%)		Baixa	Média	Alta		Baixa	Média	Alta
		< 40	40 – 70	> 70		< 40	40 – 70	> 70
Vento (km/dia)	Bordadura (R) m				Bordadura (R) m			
Leve (<2 m/s)	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
Moderado (2-5m/s)	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
Forte (5-8m/s)	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
Muito Forte (>8 m/s)	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

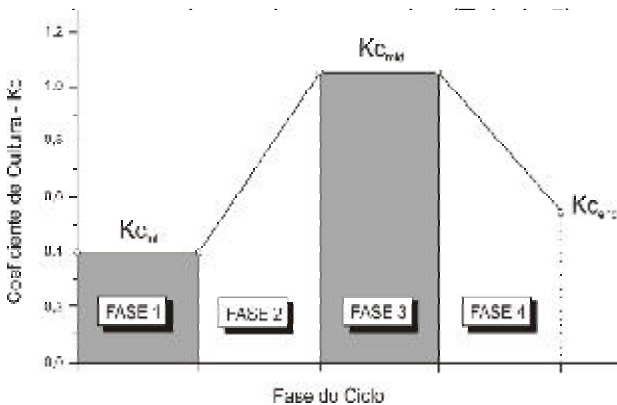
\* umidade relativa (UR)

Com os dados da Tabela 4, Snyder (1992) desenvolveu a seguinte equação para permitir a interpolação dos valores tabelados de K<sub>p</sub> na condição de tanque exposto com cobertura vegetal (caso A da Figura 2):

estádios 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 a sua fase, sendo que os valores mínimos e máximos dependem também das condições climáticas locais.

As equações seguintes foram usadas para estimar o coeficiente de cultura inicial (Kc1), de



**Figura 3.** Evolução do coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ciclo fenológico de culturas de ciclo anual, evidenciando-se as fases 1 ou inicial (Kc-ini) e a 3 ou de florescimento (Kc-mid) (Doorenbos e Pruitt, 1977; Allen et al., 1998)

turno de ir-rigação (TI) variando de 1 a 6 dias:

$$Kc1 = a + b.TI \quad (6)$$

Em que:

Kc1 = coeficiente de cultura para a fase 1;

TI = turno de ir-rigação na fase 1 (dias, 1 = TI = 6 dias);

a = coeficiente para a interseção em TI = 0 (Tabela 5);

**Tabela 5.** Valores dos coeficientes “a” e “b” da equação 6, que prediz o coeficiente de cultura na fase 1 (Kc1) do ciclo fenológico de culturas anuais, segundo a demanda evaporativa predominante

Demanda evaporativa	Evapotranspiração de referência (ETo – mm/dia)	a	b
Baixa	ETo ≤ 2,5	1,17867	-0,07486
Moderada	2,5 < ETo ≤ 5,0	1,08133	-0,08371
Alta	5,0 < ETo ≤ 7,5	0,95133	-0,08371
Muito Alta	ETo > 7,5	0,90133	-0,08371

b = coeficiente para a declividade da reta (Tabela 5).

A equação 6 foi gerada através de ajuste realizado nas curvas apresentadas de Kc x ETo x TI, por Doorenbos e Pruitt (1977), adaptadas à nova metodologia para a obtenção do Kc, segundo Allen et al. (1998), para qualquer cultura anual na fase 1 do seu ciclo de desenvolvimento.

Os valores do Kc para a fase 3 (Kc3) 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 as classes de demanda evaporativa (como mostradas na Tabela 5) foram feitas de acordo com a equação:

$$Kc3 = Kc3(tab) + [0,04.(u2 - 2) - 0,004.(URmin - 45)].(h/3)^{0,3} \quad (7)$$

Em que:

Kc3 = valor do coeficiente de cultura para a fase 3, corrigido segundo a demanda evaporativa;

Kc3(tab) = valor do Kc3 para uma condição padrão (Tabela 6);

u2 = valor médio da velocidade do vento a 2 m de altura acima da grama, durante a fase 3 (m/s), sendo  $1 \leq u2 \leq 6$  m/s;

UR<sub>min</sub> = valor médio da umidade relativa mínima diária durante a fase 3 (%), sendo  $20 \leq UR_{min} \leq 80\%$  ;

h = altura da cultura na fase 3 (m).

Kc<sub>5</sub>, na maioria dos casos, são menores que 0,45. No presente caso, para as culturas de grãos, adotou-se o valor padrão de Kc<sub>5</sub> igual a 0,35, que é um valor médio predominante na Tabela 6.

**Tabela 6.** Valores da faixa de duração total do ciclo, do percentual de duração das fases (conforme Figura 3), dos coeficientes de cultura nas fases 3 e 5 do ciclo vegetativo ( $Kc_3$  e  $Kc_5$ ) 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 (dias)	Percentual de duração das fases*				Kc3	Kc5	Altura média da cultura na fase 3 (h) (m)
		1	2	3	4			
<b>Leguminosas e Oleaginosas:</b>								
Amendoim	120 a 150	22	26	34	18	1,15	0,60	0,4
Canola	120 a 170	17	27	36	20	1,15	0,35	1,0
Feijão	70 a 110	16	25	40	19	1,15	0,90-0,35+	0,4
Feijão Caupi	60 a 100	20	40	25	15	1,05	0,60-0,35+	0,4
Girassol	120 a 140	17	27	36	20	1,15	0,35	2,0
Mamona	130 a 180	15	25	37	23	1,15	0,55	2,0**
Soja	100 a 140	15	20	47	18	1,15	0,50	0,75
<b>Cereais e Fibras:</b>								
Algodão	160 a 200	16	27	31	26	1,20	0,70-0,50	1,5
Aveia	120 a 150	13	20	43	24	1,15	0,25	1,0
Cevada	120 a 150	13	20	43	24	1,15	0,25	1,0
Milheto	100 a 135	17	28	33	22	1,00	0,30	1,5
Milho	120 a 160	17	28	33	22	1,20	0,35	2,0
Sorgo	105 a 140	17	28	33	22	1,10	0,55	1,5
Trigo	120 a 150	13	20	43	24	1,15	0,25	1,0
<b>Hortaliças:</b>								
Batata	105 a 145	21	25	33	21	1,15	0,75	0,6
Cebola	70 a 95	28	45	18	9	1,00	0,75	0,3
Cenoura	100 a 150	19	27	39	15	1,05	0,95	0,3
Ervilha	90 a 110	19	29	37	15	1,15	1,10-0,30+	0,5
Melancia	120 a 160	20	28	37	15	1,00	0,75	0,4
Melão	120 a 160	20	28	37	15	1,05	0,70	0,4
Tomate	130 a 180	21	28	33	18	1,15	0,90	0,6

\* adaptação segundo Albuquerque e Andrade (2000)

\*\* valor estimado

+ O primeiro valor é para colheita fresca e o segundo para colheita de grãos secos

A equação utilizada para estimar o Kc<sub>5</sub> é semelhante à equação 7, mudando-se apenas o termo Kc<sub>3</sub>(tab) por Kc<sub>5</sub>(tab), sendo esse encontrado também na Tabela 6. Contudo, o uso da equação 7 para estimar Kc<sub>5</sub> só se justifica quando Kc<sub>5</sub>(tab) for maior que 0,45. Na maioria das culturas graníferas colhidas secas, não se justifica o uso da equação 7, pois os valores de

Na planilha, os valores de Kc podem ser gerados automaticamente segundo quatro classes de demanda evaporativa, a saber:

- 1) Baixa:  $ET_o < 2,5$  mm/dia.
- 2) Moderada:  $2,5 < ET_o < 5,0$  mm/dia.
- 3) Alta:  $5,0 < ET_o < 7,5$  mm/dia.
- 4) Muito alta:  $ET_o > 7,5$  mm/dia.



Com o valor de 1 a 4 selecionado, de acordo com a demanda predominante e a teoria anterior descrita para estimar os valores de Kc geram-se os valores de Kc1, Kc3 e Kc5. Entretanto, cada um desses valores de Kc podem ser previamente conhecidos e prioritariamente utilizados no lugar daqueles estimados em função da demanda evaporativa.

### Parâmetros de Entrada

Os parâmetros de entrada estão divididos em 4 categorias na planilha "Dados": cultura, solo, clima e o método de irrigação empregado (aspersão convencional, pivô central ou sulco). Na planilha "Manejo", os parâmetros de entrada se resumem na evapotranspiração de referência ou evaporação da água do tanque Classe A (ET<sub>o</sub> ou ECA) e na precipitação pluviométrica diárias.

Todos os parâmetros necessários à cultura, ao solo e ao clima já foram discutidos com detalhes no item anterior. Para a cultura, há necessidade do número do grupo da cultura, do número da cultura dentro do grupo, da data do plantio, da duração do ciclo, da profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z<sub>max</sub>) e, opcionalmente, da profundidade de semeadura (Z<sub>o</sub>). Para o solo: a condição da umidade inicial do solo (ou opcionalmente a umidade inicial, U<sub>i</sub>), o coeficiente de disponibilidade (f) para cada uma das quatro fases do ciclo da cultura, a profundidade (Prof), a capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP) e a densidade do solo (d) de cada uma das cinco camadas do perfil do solo consideradas. Para o clima: a classe de demanda evaporativa, o turno de irrigação (TI) na fase 1 do ciclo da cultura e o valor do coeficiente do tanque Classe A, K<sub>p</sub> (ou o valor 1, caso não seja utilizado); opcionalmente, pode-se entrar diretamente com qualquer um dos valores de Kc já conhecido.

Em relação ao método de irrigação, de acordo com a pasta selecionada tem-se o seguinte:

No caso específico da pasta de trabalho para o sistema de sulcos (*manejo-irrigacao\_sulcos*), os parâmetros adicionais de entrada são:

- a) comprimento do sulco;
- b) distância lateral entre sulcos;
- c) vazão da água em cada sulco;
- d) eficiência de irrigação, que engloba o tempo de oportunidade para que a água infiltre no final do sulco.

Selecionando-se a pasta de trabalho para (*manejo-irrigacao\_aspersao-convencional*) a aspersão convencional, os parâmetros adicionais são:

- a) espaçamento entre linhas de aspersores - *ELA*;
- b) espaçamento entre aspersores numa mesma linha - *EA*;
- c) vazão do aspersor na pressão recomendada;
- d) intensidade de precipitação do aspersor (opcional) – caso seja conhecida, pode-se desprezar os 3 quesitos anteriores;
- e) eficiência de irrigação – o valor mínimo para aspersão é de 80%.

No caso da pasta de trabalho especificamente para pivôs centrais (*manejo-irrigacao\_pivo*), os parâmetros adicionais de entrada são os seguintes:

- a) lâmina de água aplicada a 100% de velocidade – *L100*;
- b) tempo de funcionamento do pivô a 100% de velocidade – *T100*;
- c) duração do período de ponta nos dias úteis (de segunda a sexta-feira) – *Pponta*;
- d) duração do período de ponta nos fins de semana (sábado e domingo) – *PpontaFS*;

- e) eficiência de irrigação ( $E_f$ ) – no caso do pivô central, a  $E_f$  deverá estar acima de 85%.

## Descrição das Planilhas

### Considerações Gerais

Utilizou-se a planilha eletrônica *Excel*, da *Microsoft*<sup>®</sup>, para a entrada, o processamento e a saída dos dados.

Cada arquivo (pasta de trabalho) referente a cada um dos três sistemas de irrigação possui três planilhas, segundo os itens:

- 1) Dados.
- 2) Manejo.
- 3) Dados-culturas

Além dessas três planilhas, a pasta *manejo\_irrigacao\_pivo* possui também uma planilha extra: *Dados-pivô*.

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

A planilha “Dados” é composta de 23 colunas visíveis (de A a W) e de 63 linhas.

A planilha “Manejo” é composta de 18 colunas visíveis (de A a R) e de tantas linhas quanto 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 120 a 180 dias, o número total de linhas vai variar de 137 a 197, respectivamente. Há espaço disponível para uma cultura com ciclo de até 201 dias, o que corresponde a um total de 218 linhas.

A planilha “Dados-pivô”, apresentada somente para o caso do sistema pivô central, mostra a lâmina de água (em mm) e o tempo de funcionamento (em horas) em função de sua velocidade de deslocamento (em %).

A planilha “Dados-culturas” tem informações de diversas culturas acerca da duração do ciclo e profundidade efetiva do sistema radicular.

As células possuem sete cores diferentes: *branca*, *verde-escura*, *cinza*, *amarelo-clara*, *amarelo-escura*, *azul-clara* e *verde-clara*. Além dessas, há quatro cores de tons fortes (azul, verde, amarela e vermelha) para identificar as demandas evaporativas (1-baixa; 2-moderada; 3-alta e 4-muito alta, respectivamente) e também três cores (laranja, verde e azul) para identificar a condição de umidade inicial (no dia do plantio) do solo (1-solo seco; 2-solo semi-úmido e 3-solo úmido, respectivamente).

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

Branca	Verde-escura	Cinza	Amarelo clara	Amarelo clara com pontilhados	Amarelo escura	Azul clara	Verde-clara
--------	--------------	-------	---------------	-------------------------------	----------------	------------	-------------

**Branca** - células informativas ou auxiliares, que efetuam cálculos necessários a outras células

**Verde-escura** - indica a cultura, o tempo ou o período de funcionamento e a velocidade do pivô

**Cinza** - para cabeçalhos ou de descrição dos parâmetros de entrada ou de saída

**Amarelo-clara** - parâmetros de entrada que deverão obrigatoriamente ser preenchidos pelo usuário

**Amarelo-clara com pontilhados** - idem à amarelo-clara, mas torna-se opcional quando as células de cor amarelo-escura são preenchidas

**Amarelo-escura** - células opcionais (pode tornar as células amarelo-claras com pontilhados sem necessidade de preenchimento)

**Azul-clara** - de preenchimento automático, de parâmetros de saída

**Verde-clara** - Idem às de cor azul-clara, mas fornecem as informações que interessam de imediato ao usuário



<b>Laranja</b> – indica condição 1 para umidade inicial do solo ou solo seco
<b>Verde</b> – indica condição 2 para umidade inicial do solo ou solo semi-úmido
<b>Azul</b> – indica condição 3 para umidade inicial do solo ou solo úmido



<b>Azul</b> indica demanda evaporativa na condição 1 ou baixa demanda
<b>Verde</b> – indica demanda evaporativa na condição 2 ou moderada demanda
<b>Amarela</b> – indica demanda evaporativa na condição 3 ou alta demanda
<b>Vermelha</b> – indica demanda evaporativa na condição 4 ou muito alta demanda

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

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 do mouse exatamente sobre o triângulo.

As duas planilhas principais das três pastas de trabalho são: 1) Dados, que possui as linhas 1 a 63: deve ter as suas células amarelo-claras ou amarelo-escuras preenchidas com os parâmetros básicos de cultura, das características do sistema em uso (sulcos, aspersão convencional ou pivô central), de solo e de clima; 2) Manejo, que tem as linhas 1 a 218: deve ter as células amarelo-claras preenchidas dia-a-dia, o que vai gerar nas células azul-claras, verde-claras e verde-escuras os resultados referentes à cultura no dia em questão e se haverá necessidade de irrigação ou não, além das lâminas líquidas, brutas recomendadas e o tempo de funcionamento do sistema de irrigação.

### Descrição da planilha “Dados” (colunas A a W e linhas 1 a 63)

As células a serem preenchidas são as amarelo-claras ou as amarelo-escuras, de acordo com o que é solicitado nas células cinzas do lado esquerdo. Todas as células amarelo-claras obrigatoriamente deverão ser preenchidas, ressaltando-se essa obrigatoriedade apenas para

as células pontilhadas I11, R11 e T13; entretanto, desde que as respectivas células amarelo-escuras K13, T15 e T16 sejam preenchidas.

**Linha 5** – Identificação da fazenda, proprietário, área, gleba de cultivo etc.:



**Parte referente à Cultura (colunas B a E e linhas 8 a 16):**

<b>CULTURA</b>			
cultura:	inexiste		
Nº grupo da cultura		Número da cultura	
data do plantio:		duração do ciclo:	
	Z.máx.:		
	Zo:		<<< opcional

Esses parâmetros da cultura são os números do grupo e da cultura, data do plantio, duração total do ciclo, profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z.máx, em cm) e, opcionalmente, a profundidade de semeadura (Zo, em cm).

Há quatro grupos de cultura, segundo a classe, de modo que as três primeiras classes possuem cada uma sete tipos de culturas e a última classe com duas culturas. Esses grupos, com as respectivas culturas, são os seguintes:

**Grupo 1** (Cereais e Fibras): 1. Algodão; 2. Aveia; 3. Cevada; 4. Milheto; 5. Milho; 6. Sorgo; 7. Trigo.

**Grupo 2** (Leguminosas e Oleaginosas): 1. Amendoim; 2. Canola; 3. Feijão; 4. Feijão caupi; 5. Girassol; 6. Mamona; 7. Soja.

**Grupo 3** (Hortaliças): 1. Batata; 2. Cebola; 3. Cenoura; 4. Ervilha; 5. Melancia; 6. Melão; 7. Tomate.

**Grupo 4** (Outras): 1. Pimentão; 2. Sorgo "soca".

Por exemplo, a cultura do milho é oriunda da combinação do grupo 1 com a cultura 5.

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 é assumida em 6 cm, porém opcionalmente pode ser adotado um outro valor que pode ser digitado na célula D16 (linha 16). A profundidade máxima efetiva do sistema radicular ( $Z_{máx}$ , em cm) deve ser indicada, cujos valores mais prováveis são também apresentados na planilha "Dados-culturas", de acordo com o tipo de cultura.

### Parte referente ao Sistema de Irrigação (colunas B a E, linhas 18 a 28):

a) Irrigação por sulco:

SULCOS	
Comp. (m)	
Dist. sulcos (m)	
Vazão sulco	
Lf:	
Lâmina média	

Deve-se informar o comprimento do sulco (em m), a distância lateral entre sulcos (em m), a vazão da água que entra em cada sulco (em  $m^3$ /hora) e a eficiência de irrigação (em %) que, normalmente, neste sistema é muito baixa, principalmente porque é necessário deixar um

tempo de oportunidade para que a água infiltre numa lâmina predeterminada ao final do sulco. A lâmina líquida média aplicada é calculada para a área (em mm/hora), em função dos outros parâmetros de entrada.

b) Irrigação por aspersão convencional:

ASPERSOR	
ELA (m)	
EA (m)	
Vazão asp.	
OU	
Precip.	<<< opcional
Ef:	
Precip.	

Os dados das características do aspersor em uso são espaçamento entre linhas laterais com aspersores (ELA, em m), espaçamento entre aspersores numa mesma linha lateral (EA, em m), vazão do aspersor (em  $m^3$ /hora) na pressão de trabalho recomendada. Opcionalmente, pode-se entrar diretamente com a precipitação dos aspersores (em mm/hora), o que dispensará a entrada de dados nas três células anteriores. Há necessidade também de digitar a eficiência de irrigação (em %), a qual recomenda-se não ser inferior a 80%. A precipitação dos aspersores (em mm/hora) é calculada ou considerada de acordo com a entrada dos dados anteriores.

c) Irrigação por pivô central:

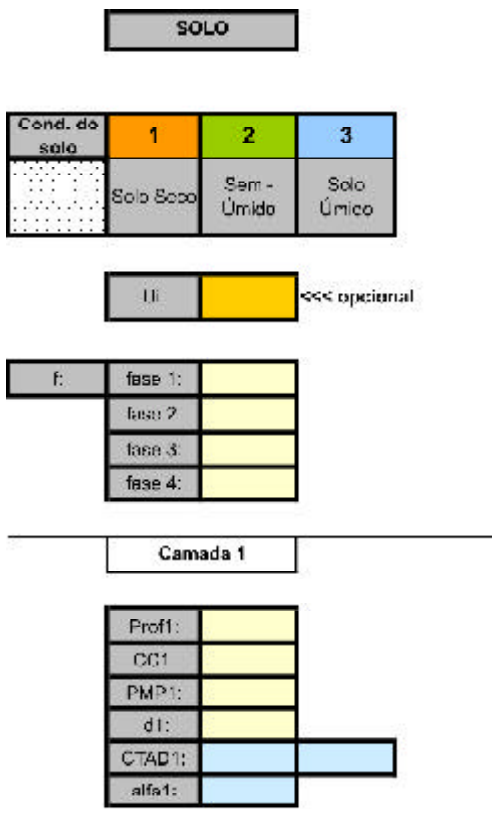
PIVÔ CENTRAL	
T100:	
L100:	
P.ponta:	
P.pontFS:	
Ef:	
T.M.D.:	
T.M.D.FS:	

Deve-se preencher o tempo de deslocamento do pivô a 100% de velocidade (T100, em horas), a

lâmina de aplicação a 100% de velocidade (L100, em mm), os valores para a duração (em horas) do período de ponta diário nos dias úteis (de segunda a sexta-feira) e nos fins de semana (sábado e domingo) e a eficiência de irrigação (Ef, em %). Os dados de T100, L100 e Ef são obtidos pelas tabelas do pivô fornecidas pelo fabricante ou, o que é melhor, através de testes realizados no campo. Os períodos de ponta ou pico são aqueles em que o pivô deverá permanecer desligado, observando-se o horário estabelecido pela concessionária de energia elétrica. Com isso, obtêm-se os tempos máximos de funcionamento do pivô diariamente nos dias úteis (T.M.D., em horas) e nos fins de semana (T.M.D.F.S., em horas).

**Parte referente ao Solo (colunas I a L, linhas 8 a 63):**

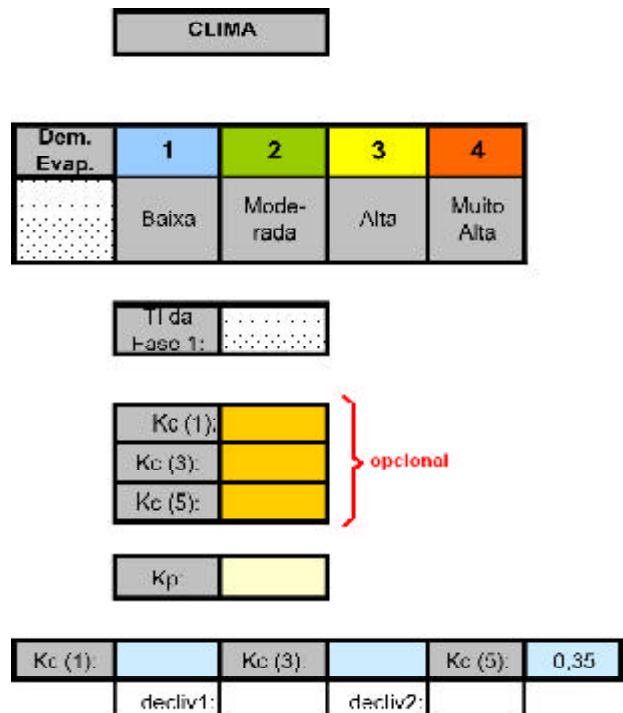
Há cinco camadas do solo disponibilizadas para entrada com a sua profundidade (Prof, em cm), CC, PMP e d. Em cada profundidade, entra-se com os dados médios, para aquela determinada camada, de CC, PMP e d. As camadas de solo



de 2 a 5 são opcionais para preenchimento; entretanto, é desejável que haja dados disponíveis por camada. A soma das profundidades de cada camada (Prof1 + Prof2 + Prof3 + Prof4 + Prof5) deve ser igual ou superior ao  $Z_{m\acute{a}x}$  (célula D14). Caso a determinação dos parâmetros CC, PMP e d não seja por camadas do perfil do solo, basta fazer o preenchimento apenas da camada 1, respeitando-se que a Prof1 seja igual ou maior que o  $Z_{m\acute{a}x}$ .

**Parte referente ao Clima (colunas R a W, linhas 8 a 22):**

É necessário conhecer a condição da umidade inicial do solo (três condições: solo seco, solo semi-úmido e solo úmido), a capacidade de campo (CC, em % peso), o ponto de murcha permanente (PMP, em % peso), a densidade (d, em g/cm³), a umidade inicial do solo (em % peso - opcional) e o coeficiente de disponibilidade (f). O f é estimado para cada uma das quatro fases do ciclo da cultura (ver em Albuquerque e Andrade, 2001). A capacidade total de água disponível (CTAD) é determinada automaticamente segundo alguns parâmetros anteriores.



Os parâmetros do clima são: demanda evaporativa do local (1-baixa, 2-moderada, 3-alta e 4-muito alta), turno de irrigação (TI) previsto para a fase 1 do ciclo da cultura, os coeficientes de cultura (Kc) opcionais, o coeficiente do tanque Classe A (Kp) e os coeficientes de cultura (Kc) processados automaticamente. São ainda calculados automaticamente os valores da declividade da curva do Kc da fase 1 para a fase 3 e da fase 3 para a fase 4 (ver Albuquerque e Andrade, 2001).

A escolha da demanda evaporativa é feita conforme os comentários das células R10, R11, S10, T10, U10 e V10 e o número referente (de 1 a 4) é colocado na célula R11. O turno de irrigação previsto para a fase 1 é posto na célula T13. O preenchimento das células R11 e T13 é desnecessário caso sejam preenchidos todos os valores de Kc em T15, T16 e T17 (células amarela-escuras). Se somente o valor do Kc(1) (célula T15) for preenchido, neste caso somente a célula T13 poderá ficar vazia. O valor do coeficiente do tanque Classe A é preenchido na célula T19. Porém, se o método de determinação da evapotranspiração de referência (ETo) for outro, digita-se o valor "1" (um). Os outros valores de Kc (células S21, U21 e W21) são de preenchimento automático, segundo a demanda evaporativa e a TI inicial. As declividades da reta entre os Kc(1) e Kc(3) e Kc(3) e Kc(5) são apresentados em T22 e em V22, respectivamente.

**Descrição da planilha "Manejo" (colunas A a R ou U)**

Como foi salientado anteriormente, somente as colunas que possuem células amarelo-claras (D, E e I) serão preenchidas pelo usuário. As demais são preenchidas automaticamente de acordo com os parâmetros de entrada das células amarelo-claras.

**Linhas 8 a 12 – Relatório resumido da irrigação**

RELATÓRIO:									
Lâmina (mm)		Chuva (mm)		Irrigação efetuada (mm)			déficit	L. residual (mm):	
Req.	Util.	Total	Efetiva	qtdc.	LB	LL	(%)	desejável	real

Esse relatório é constituído por: lâmina requerida e utilizada pela cultura; chuvas totais ocorridas e efetivas; as lâminas bruta e líquida e a quantidade das irrigações efetuadas; o déficit que porventura possa ter ocorrido, além da lâmina residual de água que fica no solo no último dia de entrada de dados.

A lâmina de água requerida (célula C12) é a soma da evapotranspiração máxima diária da cultura até a última entrada do dado da evapotranspiração de referência (ETo). A lâmina utilizada (célula D12) inclui, além da lâmina líquida de irrigação e chuva efetiva, a variação no armazenamento da água no solo (umidade inicial subtraída da umidade final do solo).

As células E12 e F12 correspondem às chuvas total e efetiva para a cultura, respectivamente, ocorridas no período (até a entrada do último dado de ETo na planilha).

As células G12, H12 e I12 representam, respectivamente, a quantidade de irrigação realizada, a lâmina bruta (que leva em conta a eficiência de irrigação) e a lâmina líquida de irrigação (que contribuiu efetivamente para suprir a cultura) no período.

O déficit que porventura possa ter ocorrido é mostrado na célula J12 e se refere à diferença entre a evapotranspiração máxima (ETc) e a real (ETr) em relação à máxima, ou seja, (ETc-ETr)/ETc x 100. Isto, teoricamente, é o mesmo que a relação entre a água utilizada e a requerida.

As células K12 e L12 (ou N12) se referem à lâmina residual de água no solo no dia da entrada do último dado da ETo, ou seja, a lâmina residual desejável (célula K12) é a lâmina de água que deverá restar no solo no dia da maturação fisiológica da cultura (último dia do ciclo), que está aquém da Água Facilmente Disponível (AFD)



até o Ponto de Murcha Permanente (PMP). Já a lâmina residual real (célula L12 ou N12) é a que efetivamente está no solo no dia da última entrada de dados de ETo ou no dia da maturação fisiológica (final do ciclo).

**Linhas 17 e 18 em diante** – Manejo da irrigação com acompanhamento diário

a) Irrigação por sulco (colunas A a R):

Data	dia da semana	DAS	ECA ou ETo	Chuva	Recomendação da Irrigação	Lâm. Líquida de Irrigação	Lâm. Bruta de Irrigação	Lâm. de Irrigação Aplicada	Tempo de funcionamento (horas)	Tempo de funcionamento (h:minis)	Kc	CPUNO Efetiva	Z	R.A.S.D.A. (%)	Falta

**Coluna A** - representa a *data* que é preenchida automaticamente a partir da entrada da data do plantio (célula C13 da planilha “Dados”) e duração total do ciclo (célula E13 da planilha “Dados”). 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 o dia da semana.

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

**Coluna D** - 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 (ETo) diretamente, então deve-se colocar o valor 1 para o coeficiente de tanque (Kp – célula T19 da planilha “Dados”).

**Coluna E** - para a entrada dos dados referentes à precipitação pluviométrica (chuva) ocorrida diariamente. Para maior coerência nos resultados, devem-se preencher as colunas D e E com os valores do dia das medições de ECA ou ETo e chuva, mesmo que a maior parte represente o dia anterior. Preferencialmente, essas medições devem ser feitas antes das 9 horas da manhã e todos os dias no mesmo horário determinado.

**Coluna F** - 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 ETo na coluna D.

**Coluna G** - é a lâmina líquida de irrigação recomendada no dia em questão e é baseada no balanço de água na zona das raízes. 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, dentro de um fator de depleção ( $f$ ) preestabelecido, segundo a fase da cultura (células K15, K16, K17 e K18 da planilha “Dados”) e da evapotranspiração diária da cultura. Diariamente é apresentada uma lâmina, independentemente se há recomendação de irrigação na coluna F.

**Coluna H** – é a lâmina bruta de irrigação recomendada, que baseia-se na eficiência adotada na célula D24 da planilha “Dados”. É a lâmina líquida apresentada na coluna G dividida por essa eficiência.

**Coluna I** - é a lâmina que foi efetivamente aplicada pelo usuário, ou seja, lâmina que efetivamente será utilizada ou aplicada na respectiva data e que, portanto, entrará nos cálculos do balanço, já considerando a eficiência de irrigação. O ideal é que essa lâmina seja aplicada na data definida para tal e na quantidade recomendada. Se houver lâmina recomendada e se não for digitado nenhum valor, o balanço seguirá o curso normal como se não houvesse entrada de água no sistema.

**Coluna J** – É o tempo (em horas) em que deverá deixar a água correr pelo sulco, considerando a lâmina bruta de irrigação aplicada (coluna I).

**Colunas K a M** – É o mesmo tempo apresentado na coluna J, mas no formato horas: minutos.

**Coluna N** – é o coeficiente de cultura (Kc), que é dado em função da fase do ciclo de desenvolvimento da cultura, determinado conforme metodologia da FAO (ver Albuquerque e Andrade, 2001).

**Coluna O** - apresenta a chuva efetiva, que é função da chuva total (coluna E) e do conteúdo de água no solo no dia correspondente (em mm). 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, não havendo escoamento superficial.

**Coluna P** – é a profundidade efetiva do sistema radicular (Z) na data correspondente (em cm). Considera-se que a raiz cresce linearmente a partir da profundidade de semeadura até o final da

fase 2 e depois permanece com valor constante até a maturação fisiológica prevista (fases 3 e 4) (ver Albuquerque e Andrade, 2001).

**Coluna Q** – é a reserva de água no solo do dia anterior (RASDA) na região do sistema radicular, excetuando-se o dia do plantio (em %). É a flutuação do coeficiente de disponibilidade (f) 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.

**Coluna R** – é a fase do ciclo da cultura. O ciclo total é dividido em quatro fases distintas, em função do desenvolvimento da cultura para a demanda de água (ver Albuquerque e Andrade, 2001).

b) Irrigação por aspersão convencional (colunas A a R):

Data	dia do plantio	DAS	ECA ou CTC	Chuva	Recomendação da irrigação	Lâm. Líquida de irrigação	Lâm. Bruta de irrigação	Lâm. de irrigação Aplicada	Tempo de funcionamento (horas)	Tempo de funcionamento (h:min)	Kc	Chuva Efetiva	Z	R.A.S.D.A. (%)	Fase

Colunas A a G – idem ao sistema por sulcos.

Coluna H - é a lâmina bruta de irrigação recomendada, que baseia-se na eficiência adotada na célula D26 da planilha “Dados”. É a lâmina líquida apresentada na coluna G dividida por essa eficiência.

Coluna I - idem ao sistema por sulcos.

Coluna J – É o tempo de funcionamento do sistema (em horas), de acordo com a intensidade de aplicação de água pelos aspersores, conforme a célula D28 da planilha “Dados”.

Colunas K a R - idem ao sistema por sulcos.

c) Irrigação por pivô central (colunas A a U):

Data	dia do plantio	DAS	ECA ou CTC	Chuva	Recomendação da irrigação	Lâm. Líquida de irrigação	Lâm. Bruta de irrigação	Lâm. de irrigação Aplicada	Velocidade do pivô (%)	Tempo de funcionamento (horas)	Tempo de funcionamento (h:min)	Kc	Chuva Efetiva	Z	R.A.S.D.A. (%)	Fase

Colunas A a G – idem ao sistema por sulcos.

Coluna H – Idem ao sistema por sulcos, adicionando-se que as lâminas líquidas abaixo de 80% da L100 (célula D21 da planilha “Dados”) são sugeridas “N”, ou seja, “não irrigar”.

Coluna I - idem ao sistema por sulcos.

Coluna J - é a velocidade do pivô, em percentagem, que é função da lâmina bruta digitada na coluna I. Também a velocidade apresentada é originada das características



técnicas do pivô, cujos dados são digitados nas células D20 (T100) e D21 (L100) da planilha "Dados". Recomenda-se que a velocidade mínima para o pivô seja de 20%. Se ocorrer "PI > TI", significa que o tempo da irrigação foi insuficiente para o pivô completar o período de irrigação, o que requer que a irrigação prevista para o dia deva ser adiada. Se ocorrer "ND", significa que a lâmina adotada está abaixo da lâmina a 100% de velocidade. A lâmina mínima é a da velocidade 100%.

Coluna K - é o tempo de funcionamento do pivô, em horas, que é função de sua velocidade (coluna J). Quanto maior for a velocidade, menor é o tempo e vice-versa.

Colunas L a P – é o período de funcionamento do pivô, em dias, horas e minutos, tendo como base o tempo de funcionamento apresentado na coluna K e a duração do período de ponta das células D22 e D23 da planilha "Dados". Portanto, aqui o dia é considerado igual ao tempo máximo diário de funcionamento do pivô, como mostrado na células D26 (nos dias úteis) e D27 (nos fins de semana) da planilha "Dados".

Colunas Q a U – idem às colunas N a R, respectivamente, da irrigação por sulcos.

## Literatura Citada

**ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T.** Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2001. 14 p.** (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 10).

**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. 24 p.** (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 5).

**ALBUQUERQUE, P. E. P.** Planilha eletrônica para a programação de irrigação em pivôs centrais. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2003. 9 p.** (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 25).

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

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

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

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

**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, DF: Secretaria Nacional de Irrigação, 1993. 86 p.**

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

RESENDE, M.; SOUZA, L. M.; CAMINHAS, W. M.; PATARO, C. D. M.; FARIA, C. M. Utilização de redes neurais artificiais na correção e predição da evapotranspiração para programação de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABID, 2002. CD-ROM.

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

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

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

### Circular Técnica, 97

Missão da Agricultura  
Pesquisa e Aperfeiçoamento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Milho e Sorgo**  
Endereço: Rod. MG 424 km 45 - Caixa Postal 151  
Fone: (31) 3779-1000  
Fax: (31) 3779-1088  
E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição  
1ª impressão (2007): 200 exemplares

### Comitê de publicações

**Presidente:** Antônio Álvaro Corsetti Purcino  
**Secretário-Executivo:** Paulo César Magalhães  
**Membros:** Carlos Roberto Casela, Flávia França Teixeira, Camilo de Lelis Teixeira de Andrade, José Hamilton Ramalho, Jurandir Vieira Magalhães

### Expediente

**Revisão de texto:** Clenio Araujo  
**Editoração eletrônica:** Tânia Mara Assunção Barbosa