

## Capítulo 14

---

### **Viabilidade e Manejo da Irrigação**

Camilo de Lelis Teixeira Andrade

Paulo Emílio Pereira Albuquerque

Ricardo Augusto Lopes Brito

Morethson Resende

## 14.1 Viabilidade da irrigação

Antes de adquirir qualquer equipamento ou construir qualquer estrutura para irrigação, deve-se, primeiro, determinar se há necessidade de irrigar a cultura naquele local e se é possível irrigar. Em geral, o interesse pela irrigação costuma aumentar quando ocorre estiagem, com quebra ou perda da produção. Por outro lado, muitos agricultores, motivados pelo modismo ou impulsionados pela pressão comercial e facilidade de crédito, adquirem sistemas de irrigação sem mesmo verificar se a cultura a ser irrigada necessita ou responde à irrigação ou se a fonte de água de que dispõem é suficiente para atender à necessidade hídrica da cultura.

Antes de decidir irrigar, deve-se levar em consideração diversos fatores, entre os quais a quantidade e distribuição da chuva, o efeito da irrigação na produção, a necessidade de água das culturas e a qualidade e disponibilidade de água da fonte. O fator mais importante, que determina a necessidade de irrigação de uma certa cultura em uma região, é a quantidade e a distribuição das chuvas, quando comparada aos requerimentos hídricos da cultura. Outras razões para se utilizar irrigação são o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade do produto, a produção na entressafra, o uso mais intensivo da terra e a redução do risco do investimento feito na atividade agrícola.

Outro aspecto que vem se tornando cada vez mais importante quando se cogita o uso da água na agricultura é a competição entre usos múltiplos dos recursos hídricos. Em pleno século 21, em que a água é considerada como o recurso natural mais escasso, qualquer política ou decisão estratégica sobre seu uso leva em conta opções de seu uso para diferentes fins: agricultura,

uso urbano, pecuária, indústria, pesca, ambiente, turismo etc. Essa competição entre usos comporta duas análises principais, uma análise econômica e outra ambiental.

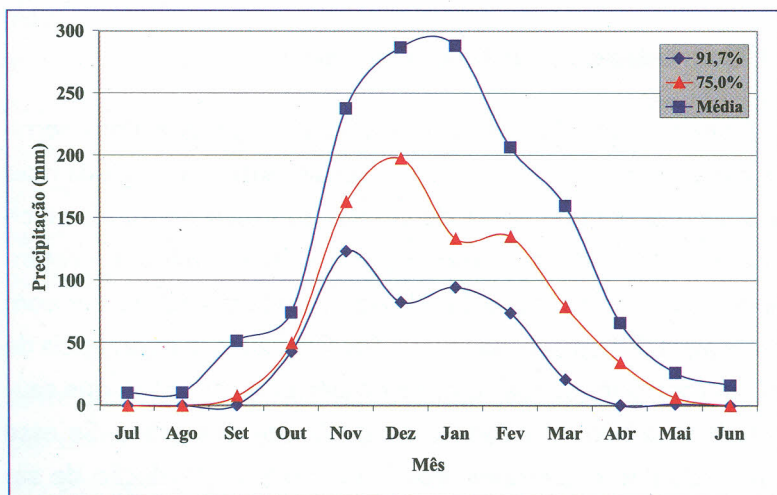
A análise ambiental tem uma escala mais ampla e é geralmente conduzida no âmbito governamental. Entretanto, a análise econômica se aplica em escala mais reduzida e, portanto merece atenção do produtor agrícola. Trata-se do conceito, relativamente recente, de produtividade da água, que procura exprimir a produtividade unitária da água, seja em termos físicos (em  $\text{kg m}^{-3}$  - quilograma de produto por  $\text{m}^3$  de água aplicado ou utilizado) ou em termos econômicos (em  $\text{R\$ m}^{-3}$  - R\$ de retorno bruto por  $\text{m}^3$  de água aplicado). Esse conceito é usado para auxiliar na definição sobre qual a melhor opção econômica de uso da água. No caso da produção agrícola, pode servir de indicador entre diferentes culturas. Numa escala regional, pode ser usado para comparar o retorno econômico do uso dos recursos hídricos para diferentes fins (agricultura, pecuária, indústria, urbano etc).

#### **14.1.1 Quantidade e distribuição de chuvas**

A necessidade de irrigação diminui das regiões áridas e semi-áridas para as regiões mais úmidas. Geralmente, nas regiões mais úmidas do país, a quantidade de chuvas ao longo do ano é suficiente para o cultivo de, pelo menos, uma safra de milho. Entretanto, devido à má distribuição das chuvas, a cultura pode sofrer com a falta de água. É comum, na região dos Cerrados, a ocorrência de veranicos (períodos secos no meio do período chuvoso), que causam quebra na produtividade e na qualidade dos grãos. Se esse tipo de risco não é tolerável, como no caso da produção de sementes, deve se dispor de irrigação, mesmo que essa aparentemente fique subutilizada durante parte do período chuvoso, lem-

brando, ainda, que, nessa região, as culturas de inverno necessitam ser irrigadas. Além do mais, o cultivo de milho verde para indústria ou consumo in natura requer irrigações freqüentes ao longo de todo o ciclo.

A análise de dados históricos de chuvas ao longo do ano é, portanto, fundamental na tomada de decisão de irrigar. Na Figura 14.1, são plotadas a precipitação mensal média e a precipitação mensal provável para o período de 1988 a 1998, em Sete Lagoas, MG. A precipitação provável representa um certo valor de precipitação que pode ser igualado ou superado com um determinado nível de probabilidade, definido com base no histórico da precipitação. Nota-se que a precipitação média (cuja probabilidade de ocorrência é aproximadamente 50%) é significativamente maior que a precipitação esperada, com 75% e 91,7% de probabilidade. Para a produção de culturas de menor valor comercial, como o milho, pode-se adotar, nesse tipo de análise, um nível de probabilidade de 75%.



**Figura 14.1.** Precipitação média e provável (probabilidade de ocorrência), para o período de 1988 a 1998, Sete Lagoas, MG.



### 14.1.2 Necessidade de água da cultura do milho

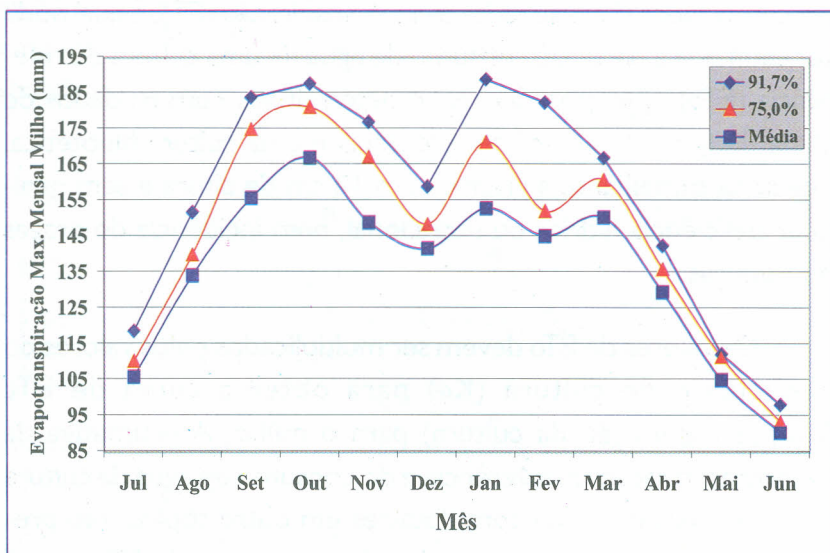
A quantidade de água que o milho utiliza durante o ciclo é chamada demanda sazonal, podendo variar com as condições climáticas da região onde é cultivado. Em regiões semi-áridas, em geral, as plantas requerem maior quantidade de água por ciclo.

Há um período durante o ciclo da cultura em que mais água é consumida diariamente. No caso do milho, esse período coincide com o florescimento e o enchimento de grãos. A quantidade de água usada pela cultura, por unidade de tempo, nesse período, é chamada demanda de pico.

O requerimento de água das culturas é, majoritariamente, a quantidade que as plantas transpiram. Como ocorre, simultaneamente, evaporação na superfície do solo, essas duas componentes combinadas são chamadas evapotranspiração (ET), a qual pode ser estimada a partir do consumo de água de uma cultura de referência (ET<sub>o</sub>), que, por sua vez, é determinada com os dados de clima do local. A cultura de referência é uma cultura hipotética, que seria semelhante à grama, com 12 cm de altura e sem qualquer deficiência hídrica ou nutricional, nem incidência de pragas ou doenças.

Os valores de ET<sub>o</sub> devem ser multiplicados pelos valores do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) para obter a curva de ET<sub>c</sub> (evapotranspiração da cultura) para o milho. A estimativa da evapotranspiração de referência e do consumo de água da cultura do milho será discutida com detalhes em outro tópico. No presente capítulo, serão empregados dados médios de ET<sub>o</sub> e será considerado um coeficiente de cultivo de 1, visando exemplificar a análise da necessidade ou não de irrigar a cultura, na região de Sete Lagoas, MG.

Na Figura 14.2, são apresentadas as curvas de evapotranspiração de referência média e provável, para o período de 1988 a 1998, em Sete Lagoas, MG. Diferentemente da precipitação (Figura 14.1), o gráfico mostra a probabilidade de ocorrência de um valor igual ou menor que o indicado. Por essa razão, os valores médios de ETo são menores que os valores associados a uma certa probabilidade (maior que 50%) de ocorrência. Vale lembrar que a evapotranspiração do milho é maior que a evapotranspiração de referência ( $K_c$  maior do que 1) no período de pico de consumo. Dois picos de consumo mensal são observados para o exemplo em questão, um em outubro e outro em janeiro. O sistema de irrigação deve ser capaz de fornecer a quantidade sazonal de água à cultura, bem como de suprir a demanda de pico. A quantidade sazonal de água requerida pela cultura deve ser comparada com a quantidade de água disponível na fonte durante o ciclo.



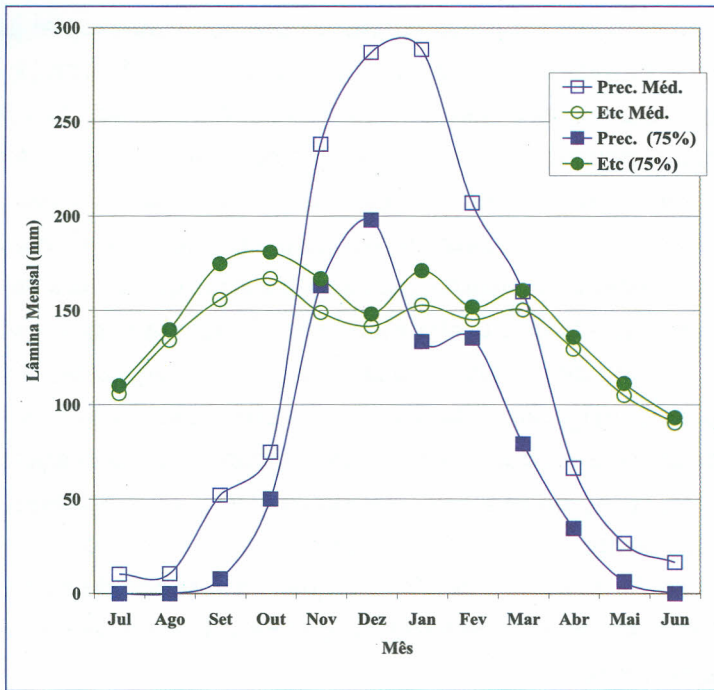
**Figura 14.2.** Evapotranspiração máxima mensal, média e provável, da cultura do milho, para o período de 1988 a 1998, Sete Lagoas, MG.

### **14.1.3 Comparação entre curvas de precipitação e de evapotranspiração**

Quando se plotam as curvas de precipitação mensal junto com as de evapotranspiração de referência mensal (Figura 14.3) é que se tem uma visão melhor da necessidade, ou não, de irrigar. O primeiro ponto que chama a atenção no exemplo é que, dada a grande variabilidade interanual da precipitação, dados médios devem ser evitados em favor de dados probabilísticos. O mesmo não é tão necessário com a evapotranspiração, que é mais uniforme. Considerando uma probabilidade de 75%, nota-se que, exceto para o período de novembro a janeiro, nos demais meses há necessidade de irrigação, mesmo que complementar às chuvas. Um agravante para a situação é a possibilidade de ocorrência de veranicos, como pode ser observado na Figura 14.4. Nota-se que veranicos de até 15 dias podem ocorrer, como é o caso do período de 13 a 31 de janeiro de 1996, o qual, na ausência de irrigação, poderia causar quebra na produtividade ou danos irreversíveis à cultura do milho.

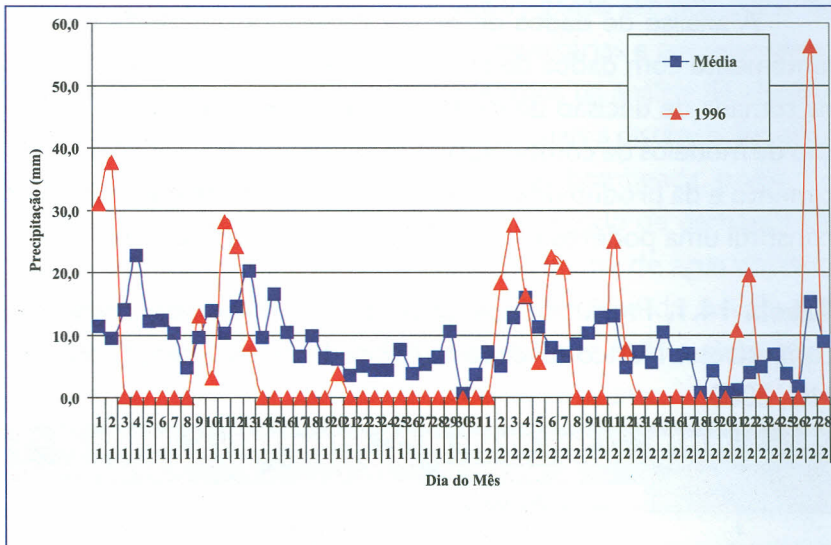
### **14.1.4 Efeito da irrigação na produtividade do milho**

Além do efeito direto da disponibilidade de água para as plantas, outros fatores contribuem para que a irrigação proporcione um aumento na produtividade da cultura. Esses são: o uso mais eficiente de fertilizantes, a possibilidade de emprego de uma maior densidade de plantio e a possibilidade de uso de variedades que respondem melhor à irrigação.



**Figura 14.3.** Comparação de curvas de precipitação e evapotranspiração médias e prováveis (probabilidade de ocorrência), para o período de 1988 a 1998, Sete Lagoas, MG





**Figura 14.4.** Precipitação média e dos meses de janeiro e fevereiro de 1996, indicando a ocorrência de veranicos, Sete Lagoas, MG.

Em ensaios experimentais, pode-se observar que vários materiais de milho apresentam boa resposta à irrigação (Tabela 14.1).

Alguns desses materiais apresentam também boa tolerância ao estresse hídrico. Vale observar ainda que esse mesmo tipo de análise de produção dos materiais de milho pode ser empregado em situações de escassez de água, em que o objetivo seria maximizar a produção por unidade de volume de água (produtividade da água) e não por unidade de área cultivada.

A análise de dados de produtividade potencial da cultura, juntamente com dados de custo de produção e preços, é crucial na tomada de decisão de irrigar ou não. Nesse sentido, a utilização de modelos de computador que integram a simulação do crescimento e da produtividade da cultura com aspectos econômicos constitui uma poderosa ferramenta de auxílio à decisão.

**Tabela 14.1.** Produtividade da cultura do milho sob irrigação e com estresse hídrico aplicado na época do florescimento. Janaúba, MG, 2000.

Material de milho	Com estresse no florescimento (kg ha <sup>-1</sup> )	Sem estresse (kg ha <sup>-1</sup> )	Redução na produtividade (%)
1	1.020	6.403	84
5	1.027	6.167	83
9	2.113	9.170	77
12	2.550	7.980	68
7	3.697	9.407	61
13	2.467	6.060	59
4	2.960	7.087	58
2	2.970	6.903	57
19	830	1.923	57
6	2.400	5.437	56
3	2.047	4.493	54
16	3.830	8.077	53
18	3.810	7.363	48
15	3.200	6.173	48
11	4.160	7.587	45
8	4.670	8.480	45
17	3.820	6.933	45
10	4.077	7.013	42
14	3.523	5.663	38
20	4.180	6.560	36
<b>BRS 3101</b>	2.987	8.190	64
<b>P 3041</b>	4.447	8.523	48

#### 14.1.5 Fonte de água

Determinada a necessidade de se irrigar a cultura, há que se analisar as fontes de água, para verificar se são capazes de suprir as necessidades hídricas da cultura com água de boa qualidade.

As principais fontes de água para irrigação são rios, lagos ou reservatórios, canais ou tubulações comunitárias e poços profundos. Vários fatores devem ser considerados na análise da adaptabilidade da fonte para irrigação, entre os quais a distância da fonte ao campo, a altura em que a água deve ser bombeada, o volume de água disponível, a vazão da fonte no período de demanda de pico da cultura e a qualidade da água. O volume de água disponível deve atender a necessidade sazonal de água da cultura e a vazão da fonte deve suprir a demanda durante todo o ciclo, principalmente durante o período de pico de consumo.

A qualidade da água, em termos de sais, poluentes e materiais sólidos, deve ser analisada. As culturas têm limite de tolerância quanto à concentração de sais na água. Poluentes podem contaminar os alimentos e os materiais sólidos podem causar problemas em bombas, filtros e emissores.

Atenção especial deve ser dada às leis de uso da água em vigor no país. Os usuários são obrigados a requerer outorga para uso da água junto às agências de controle estaduais. Além do mais, como o recurso água está a cada dia mais escasso, há tendência de aumentar os conflitos entre os usuários. O direito de uso da água de um usuário localizado a jusante do ponto onde se tenciona captar a água para a irrigação deve ser preservado, em termos de volume, vazão da fonte e qualidade da água.

Se a decisão, baseada nas informações descritas anteriormente, é favorável à irrigação, então o próximo passo é a seleção do método e do sistema de irrigação. Inicialmente, há que se conhecer os diversos métodos e sistemas de irrigação disponíveis atualmente.



## 14.2 Manejo de irrigação

O milho é considerado uma cultura que demanda muita água, mas também é uma das mais eficientes no seu uso, isto é, produz grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. Cultivares de milho de ciclo médio, cultivadas para a produção de grãos secos, consomem de 400 a 700 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas. O período de máxima exigência é na fase do embonecamento ou um pouco depois dele. Por isso, déficits de água que ocorrem nesse período são os que provocam maiores reduções de produtividade. Déficit anterior ao embonecamento reduz a produtividade em 20 a 30%; no embonecamento, em 40 a 50% e após em 10 a 20%. A extensão do período de déficit também é importante.

A irrigação para a cultura do milho pode ser viável economicamente quando o fator limitante é a água e/ou o preço de venda do produto é favorável, o que possibilita a minimização de risco e estabilidade no rendimento (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

No caso de o fator limitante ser a água, deve-se levar em consideração a evapotranspiração da cultura (ETc), a chuva (altura, intensidade, distribuição e probabilidade de ocorrência), o rendimento esperado (agricultura irrigada ou de sequeiro) e a água total disponível (ATD) no solo por unidade de profundidade efetiva do sistema radicular (Z).

O manejo da irrigação da cultura do milho consiste em estabelecer o momento correto de aplicar água e a sua respectiva lâmina (quando e quanto aplicar). Vários critérios podem ser adotados para o manejo da irrigação. Aqui serão discutidos os mais comuns e que são de maior uso prático nas condições atuais.



### 14.2.1 Alguns conceitos necessários para programar a irrigação

Evapotranspiração da cultura (Etc) - A água necessária a uma cultura é equivalente à sua evapotranspiração (ETc), que é a combinação de dois processos (Evaporação da água do solo + Transpiração das plantas). Daí a necessidade hídrica de uma cultura ser baseada em sua evapotranspiração potencial ou máxima (ETm) e expressa, normalmente, em milímetros por dia ( $\text{mm dia}^{-1}$ ). Em situação prática, a ETc é relacionada à evapotranspiração de uma cultura de referência (Eto), que é uma cultura hipotética, semelhante à grama, com uma altura uniforme de 12 cm, resistência do dossel da cultura de  $70 \text{ s m}^{-1}$  e albedo de 0,23, em pleno crescimento, sem deficiência de água e sem sofrer danos por pragas ou doenças, de modo a simplificar o processo de estimar a ETc. Então, a ETc pode ser obtida pela equação:

$$ET_c = K_c \times E_{T_o} \quad (1)$$

em que:

ETc = evapotranspiração da cultura do milho ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

Kc = coeficiente da cultura do milho (adimensional);

Eto = evapotranspiração da cultura de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ).

Com base nos dados meteorológicos disponíveis, seleciona-se um método para o cálculo da Eto. Na literatura especializada, encontra-se a descrição de alguns métodos para estimar a Eto. Mais recentemente, tem sido recomendada pela FAO a equação de Penman-Monteith. Também muito utilizado é o tanque de evaporação Classe A.

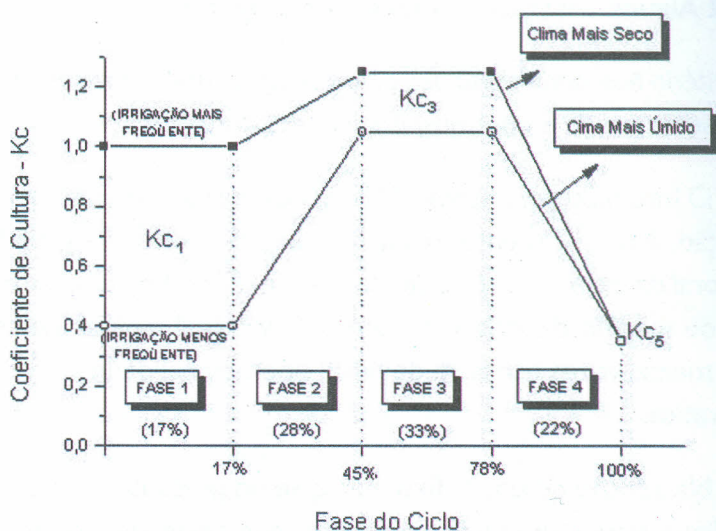
**Coefficiente de cultura (kc) do milho** - Os valores do Coeficiente de Cultura ( $K_c$ ) do milho são influenciados pelas características da variedade ou da cultivar empregada, pela época de semeadura, pelo estágio de desenvolvimento da cultura e pelas condições gerais de clima. O milho, por ser uma cultura de ciclo curto ou anual, pode ter o seu estágio de desenvolvimento dividido em quatro fases, para efeito do estudo da evolução dos valores de  $K_c$  ao longo do tempo.

A evolução dos valores de  $K_c$  do milho com o tempo pode ser visualizada de acordo com o gráfico apresentado na Figura 14.5.

Segundo dados adaptados de Allen et al. (1998), para diversas regiões do mundo, a duração do ciclo fenológico do milho para produção de grãos varia de 120 a 180 dias, cujas fases 1, 2, 3 e 4 correspondem a 17%, 28%, 33% e 22%, respectivamente, do ciclo total.

De acordo com a Figura 14.5, o valor de  $K_c$  na fase 1 ( $K_{c1}$ ) é constante e é influenciado significativamente pela frequência de irrigação nessa fase. Também o valor de  $K_{c3}$  é constante, sendo mais influenciado pela demanda evaporativa predominante. Os valores assumidos para as fases 2 e 4 variam linearmente entre os valores das fases 1 e 3 e das fases 3 e 5, respectivamente, como está apresentado na Figura 14.5.

Usando-se uma cultura de milho numa altura padrão de 2 m, para a fase 3, obtém-se a Tabela 14.2, com os valores dos coeficientes de cultura para as fases do ciclo, segundo a demanda evaporativa dominante.



**Figura 14.5.** Valores de Kc para milho, nas diferentes fases do ciclo e condições climáticas.

Água disponível no solo - Além de outras importantes funções que o solo desempenha no sistema agrícola, é também o "reservatório" de água para as plantas. A água total disponível (ATD) no solo, que pode ser absorvida pela planta, é definida como a água contida no solo que está entre a umidade da capacidade de campo (CC - ou limite superior da água disponível) e a umidade do ponto de murcha permanente (PMP - ou limite inferior da água disponível). Verificou-se que, na maioria dos solos e na maioria das situações, o solo se encontra na CC quando o potencial matricial da água ( $\Psi_m$ ) contida nele oscilar na faixa entre -10 kPa (solos arenosos e latossolos em geral) e -30 kPa (solos argilosos). Também foi verificado que o valor desse potencial para o PMP é de -1500 kPa. Em laboratório, tanto CC quanto PMP podem ser determinados com o mesmo equipamento utilizado para determinar a curva de retenção.



## 14.2.2 Alguns critérios de manejo de irrigação

(A) *Critério baseado no uso das características físico-hídricas do solo e na estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>)*

O Intervalo de irrigação (TI), às vezes chamado de turno de irrigação, é normalmente variável de acordo com a variabilidade temporal da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). Entretanto, o critério de manejo de irrigação com o TI variável, apesar de ser o ideal, muitas vezes torna-se de difícil operacionalidade em condição prática.

Na adoção de um TI fixo, parte-se do pressuposto de que a ET<sub>c</sub> diária possui um valor constante, que pode ser obtido pela média diária prevista para todo o período de desenvolvimento da cultura ou pelo valor crítico estabelecido no dimensionamento do sistema de irrigação, mas são valores que não retratam o dia-dia da ET<sub>c</sub> da cultura no campo. Recomenda-se adotar o TI fixo para cada uma das 4 fases relatadas na seleção do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) e considerar a ET<sub>c</sub> média diária em cada fase.

Esse critério normalmente é empregado quando se trabalha com dados históricos (de, no mínimo, 15 anos) da evapotranspiração de referência (E<sub>to</sub>) para o local do cultivo.

Dessa forma, o intervalo de irrigação (TI) e a lâmina líquida (LL) a serem determinados, para cada uma das quatro fases do ciclo do milho, são dados por:

$$TI_i = \frac{Arm_i}{ET_{c_i}} \quad (2)$$

$$LL_i = TI_i \times ET_{c_i} \quad (3)$$



em que:

$i$  = índice correspondente à fase (Figura 14.5) do ciclo da cultura do milho ( $i = 1, 2, 3$  ou  $4$ );

$T_{li}$  = turno de irrigação na fase  $i$ , em dias;

$Ar_{mi}$  = lâmina de água armazenada no solo na fase  $i$ , que será usada como suprimento para a cultura (mm);

$ET_{ci}$  = evapotranspiração da cultura média diária na fase  $i$ , em  $mm\ dia^{-1}$ ;

**Tabela 14.2.** Valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) para as fases do ciclo de desenvolvimento do milho, considerando uma altura padrão de 2 m na fase 3, de acordo com a demanda evaporativa dominante (segundo metodologia de Allen et al., 1998, adaptada por Albuquerque e Andrade, 2001).

Demanda evaporativa dominante*	$Tl^{**}$ na fase $l$ (dias)	$K_{c1}$	$K_{c2}$	$K_{c3}$	$K_{c4}$	$K_{c5}$
<b>Baixa</b> $ET_o = 2,5\ mm\ dia^{-1}$	1	1,10	1,10 a 1,14			
	2	1,03	1,03 a 1,14			
	3	0,95	0,95 a 1,14	1,14	1,14 a 0,35	0,35
	4	0,88	0,88 a 1,14			
	5	0,80	0,80 a 1,14			
	6	0,73	0,73 a 1,14			
<b>Moderada</b> $2,5 < ET_o = 5,0$	1	1,00	1,00 a 1,23			
	2	0,91	0,91 a 1,23			
	3	0,83	0,83 a 1,23	1,23	1,23 a 0,35	0,35
	4	0,75	0,75 a 1,23			
	5	0,66	0,66 a 1,23			
	6	0,58	0,58 a 1,23			
<b>Alta</b> $5,0 < ET_o = 7,5$	1	0,87	0,87 a 1,29			
	2	0,78	0,78 a 1,29			
	3	0,70	0,70 a 1,29	1,29	1,29 a 0,35	0,35
	4	0,62	0,62 a 1,29			
	5	0,53	0,53 a 1,29			
	6	0,45	0,45 a 1,29			
<b>Muito alta</b> $ET_o > 7,5\ mm\ dia^{-1}$	1	0,82	0,82 a 1,36			
	2	0,73	0,73 a 1,36			
	3	0,65	0,65 a 1,36	1,36	1,36 a 0,35	0,35
	4	0,57	0,57 a 1,36			
	5	0,48	0,48 a 1,36			
	6	0,40	0,40 a 1,36			

\*Segundo as faixas da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ )

\*\* Turno de irrigação

LLi = lâmina líquida de irrigação na fase i, em mm.

A lâmina de água que fica armazenada no solo (Arm) e que pode se tornar disponível à planta é representada pela equação:

$$Arm = \frac{(CC - PMP)}{10} \times f \times d \times Z \quad (4)$$

em que:

Arm = lâmina de água armazenada no solo que será usada como suprimento para a cultura (mm);

CC = umidade do solo na capacidade de campo (% peso);

PMP = umidade do solo no ponto de murcha permanente (% peso);

d = densidade (global) do solo ( $g\ cm^{-3}$ );

10 = constante necessária para conversão de unidades.

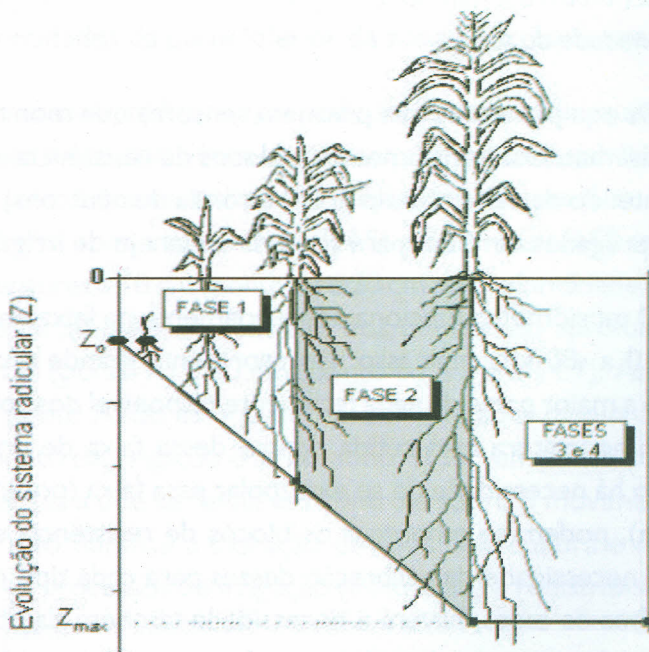
f = coeficiente de depleção da água no solo (adimensional,  $0 < f < 1$ );

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm - para o milho,  $Z_0 \leq Z \leq 40$  a 50 cm, sendo  $Z_0$  a profundidade de semeadura, conforme a Figura 14. 6).

O coeficiente f estabelece o limite da umidade no solo em que não haverá perda de rendimento da cultura proveniente da demanda evaporativa. Assim, maior demanda evaporativa normalmente exigirá menores valores de f e vice-versa. Para as condições de demanda evaporativa constantes na Tabela 14.2, os valo-

res de  $f$  podem ser de 0,75; 0,60; 0,50 e 0,40 para baixa, moderada, alta e muito alta demanda, respectivamente.

A profundidade efetiva do sistema radicular ( $Z$ ), para o milho, pode ser considerada entre 40 e 50 cm. Entretanto, dependendo das circunstâncias, impedimentos no solo de ordem física e/ou química podem alterar esses valores, de modo que é preferível que se realize teste em campo para que se encontre o valor mais compatível com a realidade local. Na fase inicial, o sistema radicular vai-se desenvolvendo a partir da profundidade de semeadura, até atingir o seu pleno desenvolvimento, que deve ocorrer no término da fase 2. Pode ser considerado que o seu desenvolvimento é linear a partir da profundidade de semeadura, até atingir a fase 3, como está representado na Figura 14.6.



**Figura 14.6.** Ilustração do desenvolvimento do sistema radicular ( $Z$ ) do milho



Geralmente, no cálculo do TI, pela equação 2, é muito comum a não obtenção de número inteiro, ou seja, o TI com fração de dias. O que se faz comumente é o arredondamento para o próximo valor inteiro inferior, de modo que o coeficiente de depleção ( $f$ ) fique ajustado para um valor menor que o originalmente adotado. Isso se faz por medida de segurança para não submeter a cultura a algum tipo de estresse hídrico. Entretanto, quando o seu valor na casa decimal for superior a oito décimos ( $> 0,8$ ), não é problema o seu arredondamento para o próximo superior, desde que se analise o que ocorre com o valor de  $f$ . Desse modo, haverá a necessidade de corrigir a LL obtida pela equação 3 em função do TI corrigido, com a conseqüente mudança também do valor de  $f$ .

*(B) Critério baseado em sensores para monitoramento do potencial ou da umidade do solo*

Os equipamentos que possuem sensores que monitoram o potencial matricial (tensiômetros e blocos de resistência elétrica) e o conteúdo de água no solo (TDR e sonda de nêutrons) podem ser empregados também para se fazer o manejo de irrigação.

O tensiômetro funciona adequadamente na faixa de potencial de 0 a -80 kPa, mas isso não representa grande problema, porque a maior parte da água facilmente disponível dos solos usados em agricultura está retida dentro dessa faixa de potencial. Quando há necessidade de se extrapolar essa faixa (potenciais  $< -80$  kPa), podem-se empregar os blocos de resistência elétrica, mas há necessidade da calibração desses para cada tipo de solo. Em ambos os casos, haverá a necessidade também da obtenção da curva de retenção do solo, ou pelo menos das umidades da capacidade de campo (CC), do ponto de murcha permanente (PMP) e do potencial de referência para se fazer a irrigação ( $\psi_{ir}$ ).

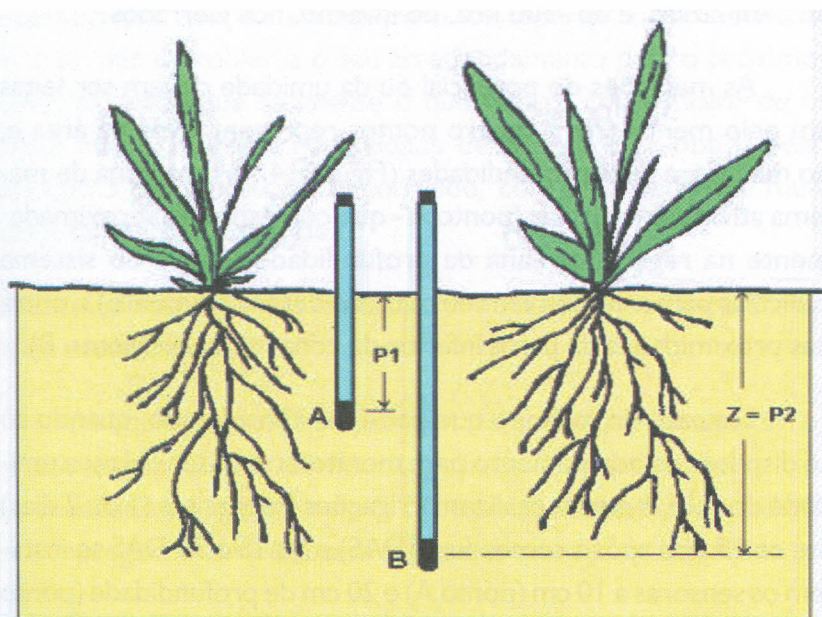


Para o caso do milho, o potencial de referência para se efetuar a irrigação ( $\Psi_{ir}$ ) é variável de acordo com o clima local e a época de plantio. Porém, de modo geral, para a garantia de plantas sem estresse hídrico, pode-se considerar o  $\Psi_{ir}$  em torno de -70 kPa. Cada caso deve ser estudado em suas condições peculiares. Estudos de Resende et al. (2000) indicam o potencial de -70 kPa, em condições de verão, nos Cerrados, e em qualquer época, no Semi-árido, e de -300 kPa, no inverno, nos Cerrados.

As medições do potencial ou da umidade devem ser feitas em pelo menos três a quatro pontos representativos da área e, no mínimo, a duas profundidades (Figura 14.7), uma zona de máxima atividade radicular (ponto A - que corresponde aproximadamente na região mediana da profundidade efetiva do sistema radicular para a cultura em seu máximo desenvolvimento) e outra nas proximidades da parte inferior da zona radicular (ponto B).

No caso do milho, o que pode ser considerado, quando só se dispuser de equipamento para monitorar o potencial ou a umidade do solo, é que se realizem irrigações freqüentes (1 ou 2 dias) até os 15 dias após a semeadura (DAS) e de 15 a 30 DAS se instalem os sensores a 10 cm (ponto A) e 20 cm de profundidade (ponto B). Após os 30 DAS, os sensores nos pontos são aprofundados para 20 cm (ponto A) e 40 cm (ponto B) (Figura 14.7). As medições no ponto A são as que devem ser utilizadas para o critério do momento da irrigação e as no ponto B servem como complementares, para que se tenha um controle sobre o movimento da água no solo durante a extração de água pela cultura e mesmo durante os processos de irrigação (infiltração) e redistribuição da água no perfil.

Controlando-se a irrigação através desses sensores instalados no solo, o momento de irrigar fica completamente independente do estabelecimento prévio de turnos de irrigação. Contudo, deve-se acompanhar o desenvolvimento do sistema radicular para determinar a zona ativa das raízes ( $Z_i$ ) e considerar a leitura do potencial ou da umidade feita no ponto médio dessa profundidade como a indicadora de quando irrigar.



**Figura 14.7.** Esquema ilustrativo para colocação de sensores de umidade na zona radicular.

Usando-se esse método como manejo de irrigação, a lâmina líquida de irrigação por fase da cultura ( $LL_i$ ) é dada por:

$$LL_i = \frac{(CC - U_r)}{10} \times d \times Z_i \quad (5)$$

em que:

$LL_i$  = lâmina líquida de irrigação na fase  $i$ , em mm;

CC = umidade do solo na capacidade de campo, em % peso;

Uir = umidade do solo no ponto A correspondente ao potencial referente ao momento de se efetuar a irrigação ( $\psi_{ir} = -70\text{kPa}$ ), em % peso;

d = densidade do solo, em  $\text{g cm}^{-3}$ ;

Zi = profundidade efetiva do sistema radicular na fase i, em cm.

l0 = constante necessária para conversão de unidades.

Observa-se que o coeficiente de depleção (f) não aparece explícito na equação 5 porque esse fator está implícito ao se estabelecer um limite mínimo de umidade de solo para reinício da irrigação (Uir). No entanto, quando se utilizam instrumentos que medem apenas o potencial matricial (como o tensiômetro), é necessário converter o valor de  $\psi_{ir}$  em Uir através da curva de retenção do solo.

*(C) Critério conjunto com sensores de solo e com algum método de medir ou estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)*

Esse critério oferece a vantagem de se poder programar a irrigação sem conhecimento prévio das características físico-hídricas do solo, como, por exemplo, a sua curva de retenção e do clima. O sensor de potencial ou de umidade do solo indicará o momento de irrigar, conhecendo-se antecipadamente o limite mínimo do potencial ( $\psi_{ir}$ ) ou do conteúdo de água (Uir) no solo, a partir do qual se realizará a irrigação. Por exemplo, como já visto para o milho, o valor de  $\psi_{ir}$  pode ser de  $-70\text{ kPa}$  lido num tensiômetro. A lâmina líquida de irrigação é determinada pelo somatório da evapotranspiração da cultura acumulada desde a última irrigação realizada, conforme a equação:



$$LL = \sum_{j=1}^n (K_{c_i} \times ET_{o_j}) \quad (6)$$

em que:

LL = lâmina líquida de irrigação (mm);

i = índice correspondente à fase do ciclo do milho (i = 1, 2, 3 ou 4);

j = índice correspondente ao dia da coleta do dado da ETo;

n = número máximo de dias de coleta dos dados de ETo até que o potencial ( $\psi_{ir}$ ) ou umidade de irrigação (Uir) seja atingido;

Kci = coeficiente de cultura na fase i;

EToj = evapotranspiração de referência no dia j.

Esse critério de manejo se adapta bem quando se utiliza o tensiômetro para estabelecer o momento da irrigação e o tanque classe A para a estimativa da ETo diária, havendo, nesse caso, a necessidade de multiplicar a evaporação da água do tanque (ECA) por um coeficiente de tanque (Kt) conforme tabela mostrada por Albuquerque e Andrade (2001).

### 14.2.3 Irrigação no dia do plantio e nos dias próximos subseqüentes

É recomendável que a irrigação no dia do plantio ou da semeadura se faça de modo a umedecer uma profundidade de solo preestabelecida até a capacidade de campo. Essa camada de solo a considerar deverá ser de, no mínimo, a profundidade máxima efetiva do sistema radicular anteriormente discutida.

Assim, a equação para calcular a lâmina líquida de plantio é semelhante à equação 5 e é escrita da seguinte forma:

(7)

em que: 
$$LL(\text{plantio}) = \frac{(CC - U_{in})}{10} \times d \times Prof$$

LL = lâmina líquida de irrigação a ser aplicada no dia do plantio, em mm;

CC = umidade do solo na capacidade de campo, em %peso;

U<sub>in</sub> = umidade inicial do solo, ou seja, no dia do plantio, em %peso;

d = densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup>;

Prof = profundidade do solo que se deseja umedecer até a capacidade de campo (CC), em cm. Recomenda-se que Prof = profundidade efetiva máxima do sistema radicular (Z);

10 = constante necessária para conversão de unidades.

A umidade inicial (U<sub>in</sub>) pode ser determinada pelo método gravimétrico, através de amostra retirada do local até a profundidade (Prof). Dependendo da condição climática como, por exemplo, após um período de seca prolongado, o seu valor poderá até ser menor do que o ponto de murcha permanente (PMP).

Logo após o plantio, a semente necessitará de umidade no solo para iniciar o processo de germinação ou de desenvolvimento. A reserva de água no solo, necessária à germinação, limita-se à profundidade de semeadura (Z<sub>0</sub>) e um pouco além dela. Portanto, é de fundamental importância manter o solo sempre úmido nesse período de pré-emergência. A grande perda de água pelo

solo nesse período é devido à evaporação pela sua superfície.

#### 14.2.4 Lâmina bruta de irrigação (LB)

A lâmina bruta de irrigação (LB) é baseada na lâmina líquida de irrigação (LL), na eficiência do sistema e na necessidade de lâminas extras de lixiviação para o caso de controle de salinização em áreas propícias. Desse modo, a LB é dada por:

$$LB = \frac{LL}{Ef} + L_r \quad (8)$$

em que:

LB = lâmina bruta de irrigação, em mm;

LL = lâmina líquida de irrigação, em mm;

$L_r$  = lâmina complementar necessária para lavagem do solo, em situação propícia à salinização do solo, em mm;

$E_f$  = eficiência de irrigação, em decimal.

A eficiência ( $E_f$ ) representa a porcentagem da água total aplicada à cultura que é benéficamente utilizada para o uso consuntivo da cultura.  $E_f$  é basicamente uma função da uniformidade de aplicação, mas também depende de perdas menores (escoamento superficial, vazamentos, fluxos na rede e drenagem), perdas inevitáveis (percolação profunda, devido ao padrão de molhamento no solo e chuva fora de época) e perdas evitáveis (resultantes de programação inadequada).

Em regiões úmidas, que possuem um período de chuvas



regulares, que promovem a lavagem do solo, é desnecessário o uso da Lr. Entretanto, em regiões de chuvas escassas, como em locais áridos e semi-áridos, há necessidade de se considerar esse termo no cálculo da LB.

Os valores da eficiência são obtidos em função da uniformidade de aplicação que o sistema de irrigação empregado pode fornecer. Por isso, há a importância de se realizar testes de uniformidade de aplicação de água nos diversos sistemas de irrigação existentes.

#### **14.2.5 Consumo total de água da cultura do milho**

O consumo total de água da cultura do milho varia em função das condições climáticas e da cultivar utilizada. Para a ocorrência de uma condição ideal de evapotranspiração máxima, ou seja, as plantas sem sofrer estresse hídrico, os valores aproximados do consumo de água pela cultura, por fase do ciclo fenológico (conforme a Figura 14.5), estão apresentados na Tabela 14.3, em função de demandas evaporativas baixa, moderada, alta e muito alta.

#### **14.2.6 Recursos de informática**

Para a programação da irrigação da cultura do milho, há alguns recursos disponíveis na área da informática, como planilhas eletrônicas (ALBUQUERQUE e ANDRADE, 2001; ALBUQUERQUE, 2003) e o software IrrigaFácil (COELHO et al., 2005) que predizem as datas e as lâminas de irrigação, mesmo numa situação de ocorrência de chuvas.

**Tabela 14.3.** Valores aproximados do consumo de água pela cultura do milho, por fase do ciclo fenológico e total, em função da demanda evaporativa (valores previstos para consumo total e adaptados de Allen et al. (1998) para consumo por fase, segundo a demanda evaporativa).

<i>Demanda evaporativa*</i>	<i>Consumo (mm)</i>				
	<i>Fase 1**</i>	<i>Fase 2</i>	<i>Fase 3</i>	<i>Fase 4</i>	<i>Total</i>
<i>Baixa</i>	75	140	185	80	480
<i>Moderada</i>	70	150	215	85	530
<i>Alta</i>	65	160	255	110	590
<i>Muito alta</i>	65	175	280	120	640

\*Demanda evaporativa conforme a Tabela 14.1.

\*\*Fases do ciclo fenológico como mostradas na Figura 14.5.

### 14.3 Referências

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

COELHO, E. A.; RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; FARIA, C. M.; VIANELLO, R. L. IRRIGA FACIL - Um software para manejo da irrigação utilizando valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) ajustados e preditos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA AGRICULTURA IRRIGADA, 2005, Teresina. **Anais...** Teresina: ABID; Governo do Estado do Piauí; Embrapa Meio Norte; DNOCS; CODEVASF, 2005. CD-ROM. ABID 2005.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.