



ISSN 1518-4277

Dezembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 65

Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

*Paulo Emílio Pereira de Albuquerque
Paulo Maeno*

Sete Lagoas, MG
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone:(31) 3779 1000
Fax: (31) 3779 1088
Home page: www.cnpms.embrapa.br
E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

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

Revisor de texto: Clenio Araujo
Normalização bibliográfica: Maria Tereza Rocha Ferreira
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

1ª edição

1ª impressão (2007): 200 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Albuquerque, Paulo Emilio Pereira de.

Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada / por Paulo Emilio Pereira de Albuquerque e Paulo Maeno. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.

78 p. : 14,8 x 21 cm. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277, 65)

1. Irrigação - Manejo. 2. Água – Requerimento. 3. Irrigação localizada. I. Maeno, Paulo. II. Título. III. Série

Autores

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque

Engº. Agrícola, D.S., Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151 – Sete Lagoas, MG.

CEP: 35701-970

Tel.: (031) 3779-1237; Fax: (031) 3779-1088;

e-mail: emilio@cnpms.embrapa.br

Paulo Maeno

Engº. Agrícola, M.Sc., Brasmáquinas, Janaúba, MG. CEP: 39440-000. Tel.: (038) 3821-2855;

e-mail: paulo@brasmaquinas.com.br

Sumário

Introdução	7
Sistema de Irrigação Localizada	9
Necessidades Hídricas das Culturas	11
Água Disponível no Solo	38

Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque
Paulo Maeno

Introdução

O primeiro passo para elaboração do projeto e dimensionamento de qualquer sistema de irrigação é determinar as necessidades hídricas das culturas que serão implantadas.

Geralmente, esses cálculos são realizados para as condições críticas que poderão ocorrer com a cultura em função do solo, do clima, da fase dessa cultura e da época do ano.

Por isso, deve-se definir com clareza a diferença entre as necessidades máximas de irrigações que se utilizam para o cálculo do diâmetro das tubulações, do dimensionamento do conjunto motobomba etc. e as necessidades normais de irrigação que controlam o funcionamento do sistema. Portanto, o que importa para o projetista são as necessidades máximas, que permitem calcular a hidráulica das instalações. As necessidades normais, que são do interesse do irrigante durante a condução do dia-a-dia da sua cultura, são obtidas pelo manejo de irrigação, que é o ajustamento

8 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento
e manejo de sistemas de irrigação localizada

da duração ou da frequência de irrigação em função da lâmina de água requerida para determinada fase ou período do ciclo da cultura (Vermeiren e Joblin, 1997).

A irrigação localizada é utilizada em culturas onde somente uma parte da área está totalmente coberta pelas plantas, como ocorre comumente com fruteiras e com algumas olerícolas. Na irrigação por superfície ou por aspersão, toda a superfície do solo que a cultura não cobre e que é molhada pela irrigação sofre perda de água, devido à evaporação do solo e à transpiração de ervas daninhas. O cálculo das necessidades hídricas determinado para esses sistemas inclui essas perdas; entretanto, para o cálculo das necessidades hídricas das culturas em irrigação localizada, deve-se aplicar um coeficiente de redução (K_r), tendo em vista que, geralmente, apenas uma parte da superfície do solo é molhada (Vermeiren e Joblin, 1997).

A irrigação localizada possui a característica de ser de alta frequência, o que torna o papel do solo de pouca importância como reservatório de água para as plantas. Entretanto, a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) adquire grande importância, sendo um fator essencial para o manejo da irrigação e o dimensionamento das instalações.

Em relação a outros sistemas de irrigação, a localizada tem as seguintes características:

- a) Menor evaporação de água da superfície do solo;
- b) maior energia disponível para a transpiração das plantas;

- c) irrigar sempre com aplicação proporcional de fertilizantes;
- d) maior controle do volume de água aplicado;
- e) possibilidade de automação total.

Sistemas de Irrigação Localizada

Os principais sistemas de irrigação localizada são a microaspersão e os gotejamentos superficial e subsuperficial. A principal razão pela qual há mais de um tipo de sistema de irrigação localizada é devido à grande variação de solo, clima, culturas, topografia, disponibilidade de energia e condições socioeconômicas para as quais o mesmo deve ser adaptado.

A irrigação por gotejamento é caracterizada pela aplicação de pequenas quantidades de água em alta frequência e diretamente na zona radicular, mantendo a umidade próxima ao limite superior de disponibilidade de água, em um volume de solo (Souza, 2007). Esse sistema localizado pode ser classificado ainda segundo a posição de instalação da linha de emissores em: superficial, quando os emissores se encontram na superfície do solo; e subsuperficial, quando os emissores se localizam abaixo da superfície (Nogueira et al., 2000).

A irrigação por gotejamento subsuperficial é um método de suprir baixos volumes de água à zona radicular das culturas, utilizando-se linhas de gotejadores enterradas no solo, em profundidade variável, segundo parâmetros baseados em fatores diversos como tipo de solo, cultura irrigada, sistema de cultivo, dentre outros (Souza, 2007). Esse sistema se caracteriza pelo fato de a emissão de água

- 10 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

ser feita subsuperficialmente, com a frente de umidade tangenciando a superfície do solo (dependendo da profundidade), evitando a exposição de superfície molhada e reduzindo, ainda mais, as perdas por evaporação. O desenvolvimento dessa tecnologia garante a uniformidade de aplicação da água próxima a 100% (Nogueira et al., 2000).

Em sistemas de irrigação por subsuperfície, os problemas mais comuns de entupimento ocorrem quando as linhas laterais são esvaziadas e succionam sujeira para dentro dos emissores ou quando as raízes das plantas entram nos emissores. Para propósito de projeto hidráulico, esses sistemas exigem a instalação de válvulas anti-vácuo em maior quantidade nas parcelas de irrigação, quando comparados aos sistemas de gotejamento superficial. A maior necessidade de sua utilização está relacionada ao objetivo de minimizar o succionamento e a conseqüente entrada de partículas de solo no interior dos emissores, o que poderia provocar variação de vazão ou até mesmo a obstrução dos emissores (Resende, 2003).

Do ponto de vista do manejo da irrigação, a freqüência de aplicação de água é fator fundamental à prevenção contra a intrusão radicular. O sistema radicular não invade emissores em solos saturados ou próximos à saturação; portanto, não havendo depleção elevada de água no solo, não ocorrerá intrusão radicular (Mead, 2007). Novos materiais que repelem as raízes e novos desenhos dos emissores minimizam esses problemas. Além do mais, a aplicação periódica de herbicidas, como trifluralina, na água de irrigação previne a entrada de raízes nos emissores (Coelho e Or, 1996).

Necessidades Hídricas das Culturas

De modo geral, a água necessária a uma determinada cultura é equivalente à evapotranspiração (evaporação de água do solo + transpiração das plantas) de uma cultura livre de doenças e se desenvolvendo em um local em condições ótimas de solo e clima. A condição ótima de solo consiste em nível de fertilidade e umidade suficientes para a cultura alcançar a sua produção potencial no meio considerado. Daí, a necessidade hídrica de uma cultura é baseada em sua evapotranspiração (ET_c) e é expressa, normalmente, em milímetros por dia (mm/dia).

Os dados necessários à demanda hídrica da cultura podem ser obtidos através de medições realizadas diretamente no campo. Entretanto, os procedimentos de medidas diretas são demorados e trabalhosos, sendo esses mais utilizados em condições de pesquisa. Dessa forma, os métodos estimativos são os mais utilizados.

A precisão na determinação das necessidades hídricas das culturas depende muito da natureza dos dados climáticos disponíveis e da precisão do método selecionado para estimar a evapotranspiração. Muitos detalhes dos procedimentos de cálculo das necessidades hídricas das culturas se encontram em Doorenbos e Pruitt (1977). De forma mais simplificada, serão apresentados a seguir alguns pontos básicos para esse cálculo.

Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência ET_o é definida como “a evapotranspiração de uma superfície considerável de uma cultura

semelhante à grama verde a uma altura uniforme (entre 8 e 15 cm), sob desenvolvimento ativo, que recobre completamente o solo, sem limitação hídrica”.

Com base nos dados meteorológicos disponíveis, seleciona-se um método para se calcular a ETo. É evidente que quanto maior for a disponibilidade de dados, também deverá ser maior a precisão na estimativa de ETo. O método atualmente considerado como padrão tem sido o de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (Allen et al., 1998).

Aqui somente será mostrado o método do tanque Classe A para a estimativa de ETo. Outros métodos são descritos com bastante detalhe, ainda ilustrados com exemplos, em Doorenbos e Pruitt (1977), Allen et al. (1998) e Pereira et al. (1997).

A ETo pode ser estimada com base em séries históricas da região (no mínimo 15 anos) para períodos de 30 dias ou superior a 10 dias, utilizando-se os dados médios de cada período. Os valores extremos são analisados em amplitude e frequência e depois é feita a sua distribuição de frequência para diversos níveis de probabilidade de ocorrência, que pode ser, para efeito de dimensionamento, de 75%.

Método de estimativa da ETo por meio do tanque de evaporação Classe A

O tanque de evaporação Classe A é circular, com cerca de 120 cm de diâmetro e altura de 25 cm. É construído de chapa galvanizada ou de aço inoxidável e montado sobre um estrado de madeira com 15 cm de altura. Deve ficar nivelado com a lâmina de água a, no máximo, 5 cm da borda, não devendo deixar que essa lâmina atinja mais de 7,5 cm da borda, ocasião em que o tanque deverá ser

reabastecido. A água deverá ser regularmente renovada para evitar turbidez. Se for tanque galvanizado, esse deverá ser pintado anualmente com tinta alumínio.

O tanque Classe A fornece uma medida do efeito integrado da radiação, do vento, da temperatura e da umidade relativa do ar sobre a evaporação de uma superfície livre de água. De um modo similar, as plantas têm a mesma resposta a essas variáveis climáticas, mas muitos fatores podem produzir efeitos diferentes na perda de água pela cultura. A refletividade da radiação solar de uma superfície de água é de apenas 5-8%, enquanto superfícies vegetadas têm esse valor entre 20-25%. O armazenamento de calor no tanque pode ser apreciável e causar evaporação tanto de dia quanto à noite, ao passo em que a maioria das culturas só transpira durante o dia. Também a diferença das perdas de água do tanque e das culturas pode ser causada pelas diferenças na turbulência, na temperatura e na umidade do ar imediatamente acima das superfícies. Além disso, a variação na cor do tanque e o uso de tela podem refletir na perda de água, assim como a sua localização no campo, em função de solo vegetado ou de solo nu.

Apesar de todas essas deficiências, o uso racional do tanque para prever requerimento de água das culturas ainda é garantido, principalmente para períodos de 10 dias ou mais.

Para relacionar a evaporação da água do tanque Classe A com a evapotranspiração de referência derivou-se um coeficiente empírico, o qual leva em consideração o clima e o ambiente onde se localiza o tanque. Essa relação é a seguinte:

$$ET_0 = K_p \times ECA \quad (1)$$

- 14 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

onde

E_{To} = evapotranspiração de referência (mm/dia)

K_p = coeficiente do tanque (adimensional, $0,35 < K_p < 0,85$ – Tabela 1)

E_{CA} = evaporação da água do tanque Classe A, que pode representar o valor médio diário do período considerado (mm/dia)

A Tabela 1 apresenta os valores de K_p em função das condições de vento, da umidade relativa do ar e do ambiente em que se localiza o tanque.

Os valores de K_p da Tabela 1 são para tanques colocados em campo aberto com culturas não mais altas do que 1 m num raio a 50 m do tanque. O raio de bordadura (R) refere-se ao lado dominante do vento, conforme é mostrado na Figura 1.

A faixa de umidade relativa (UR) referida na Tabela 1 é a UR média ou $(UR_{\text{má}} + UR_{\text{min}})/2$. O vento corresponde à sua velocidade dentro de 24 h (em km/dia).

Quando o tanque estiver localizado numa estação com cobertura vegetal muito rala ou em solo seco nu ou, indesejavelmente, sobre concreto ou asfalto, a temperatura do ar no nível do tanque pode estar 2 a 5° C mais elevada e a UR 20 a 30 % mais baixa. Isso é mais pronunciado em climas árido e semi-árido. Esse efeito já está considerado nos valores da Tabela 1. Entretanto, em áreas sem cultivo e extensivas de solo nu, como as encontradas em condições desérticas e semi-desérticas, os valores de K_p fornecidos para clima árido com vento muito forte podem ser reduzidos para mais

e manejo de sistemas de irrigação localizada de 20%; para áreas com níveis moderados de temperatura, umidade relativa e vento, a redução deve ser de 5 a 10%; e nenhuma redução se faz necessária se a condição for de clima úmido e frio.

Tabela 1. Coeficiente de tanque (Kp) 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 < 40	Média 40 – 70	Alta > 70	Baixa < 40	Média 40 – 70	Alta > 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 (2-5 m/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 (5-8 m/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
Muito Forte (> 8 m/s)	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)

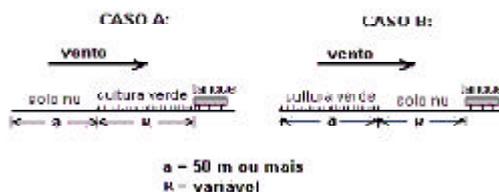


Figura 1. Casos A (bordadura com vegetação verde) e B (bordadura de solo nu), conforme a Tabela 1, para observação do raio de bordadura (R) em função da direção do vento dominante

- 16 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

Se o tanque estiver circundado por culturas mais altas, como por exemplo milho com 2,5 m de altura, o K_p deverá ser aumentado em 3 0% para condição de clima mais seco e muito vento, enquanto esse acréscimo deverá ser de 5 a 10 % se a condição for de vento leve e clima úmido.

Os valores da Tabela 1 se aplicam ainda para tanques galvanizados pintados anualmente de alumínio. Uma pequena diferença nos valores pode ocorrer caso o tanque seja pintado externa e internamente de branco e um acréscimo de até 10 % pode haver caso ele seja pintado de preto.

O nível da água mantido no tanque é um aspecto de fundamental importância, podendo ocorrer erros de até 15 % quando o nível ultrapassa 10 cm além do padrão de 5 a 7,5 cm abaixo da borda. Há telas montadas sobre o tanque que podem reduzir a evaporação em até 10 %. Um modo de evitar que pássaros utilizem a água do tanque para beber é usar um outro tanque próximo com água até a borda; assim, os pássaros deverão preferir o tanque mais cheio. Quando for necessário, esse segundo tanque pode ser usado também para reabastecer o tanque principal, já que a temperatura da água de ambos deve ser a mesma.

A turbidez da água não afeta mais que 5 % na evaporação. A variação global da evaporação não é constante ao longo do tempo em decorrência da idade, da deterioração e da repintura do tanque.

Seleção do Coeficiente de Cultura (K_c)

A ET_c é a soma da transpiração da cultura e a evaporação da superfície do solo. A partir da cobertura completa do solo pela cultura, a evaporação torna-se desprezível. Somente no período do

plântio e no início do crescimento vegetativo a evaporação do solo é considerável, particularmente se a sua superfície estiver úmida em decorrência de irrigações e de chuvas freqüentes.

Transpiração e evaporação são regidas por diferentes processos físicos. No entanto, mesmo no período de crescimento vegetativo a evaporação da água do solo forma parte da ET_c e, para efeito de simplicidade, o coeficiente que relaciona ET_o com a evapotranspiração da cultura já considera a evaporação da água do solo. Esse coeficiente é denominado de coeficiente de cultura, ou simplesmente K_c .

Os valores de K_c relacionam a evapotranspiração da cultura livre de doenças, que se desenvolve num campo de tamanho relativamente extenso sob condições ótimas de água e de fertilidade no solo e que pode atingir o pleno potencial de produção. Portanto, a relação entre ET_c e ET_o se expressa por:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (2)$$

onde

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm/dia)

K_c = coeficiente de cultura (adimensional, Tabelas 3, 5, 6 e 7)

ET_o = evapotranspiração de referência (mm/dia)

Os procedimentos para selecionar os valores apropriados de K_c serão mostrados a seguir e são influenciados pelas características da cultura, pela época de plantio ou de semeadura, pelo estágio de desenvolvimento da cultura e pelas condições gerais de clima.

O efeito das características da cultura sobre a relação entre ET_c e ET_o é mostrado na Figura 2. A grande variação entre os grupos de cultura é devida à resistência à transpiração de diferentes tipos de plantas, tais como as que mantêm os estômatos fechados durante o dia (abacaxi) e com folhas cerosas (citrus). Também diferenças na altura, na rugosidade da cultura, na reflexão e na cobertura do solo produzem a variação ilustrada na relação ET_c/ET_o .

Para condições de evaporação elevada, isto é, clima quente, ventos fortes e baixa umidade do ar, os valores de ET_o podem alcançar de 12 a 14 mm/dia e valores de ET_c de 15 a 17 mm/dia podem ser reais, particularmente para culturas baixas em regiões áridas que são fortemente afetadas por ventos e por ar seco.

Algumas faixas aproximadas de valores de ET_c obtidos por ciclo total da cultura são apresentados na Tabela 2. As magnitudes mostradas poderão alterar em função daqueles fatores discutidos, principalmente as características da cultura e do clima, a duração do ciclo de desenvolvimento e a época de plantio.

No período específico da semeadura ou do plantio e durante o estágio seguinte de crescimento vegetativo, a frequência de chuva ou irrigação é um parâmetro que influencia muito o K_c .

A época de plantio afetará a duração do ciclo de desenvolvimento e a taxa de crescimento da cultura. Por exemplo: dependendo do clima, a beterraba pode ser semeada no outono, na primavera ou no verão, perfazendo um ciclo total de 230, 200 e 160 dias, respectivamente. O ciclo da soja varia de 100 dias, em regiões de clima quente e de baixa latitude, a 190 dias, em 2500 m de altitude na África Equatorial; e o ciclo do milho de 80 a 240 dias, respectivamente (Doorenbos e Pruitt, 1977).

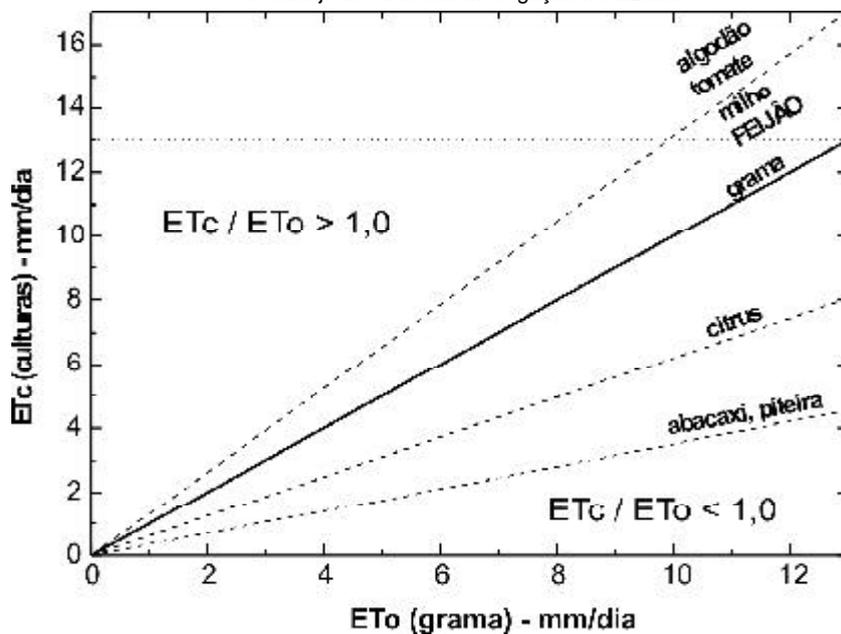


Figura 2. Evapotranspiração da cultura (ET_c) comparada com a evapotranspiração de referência (ET_o) (Doorenbos e Pruitt, 1977).

As condições gerais de clima, especialmente vento e umidade relativa do ar, também são fatores que influem no K_c . Por exemplo: o vento afeta com maior intensidade a taxa de transpiração de culturas de porte mais alto quando comparadas com uma cobertura lisa de grama. Isso se deve à turbulência do ar acima da superfície rugosa da cultura, sendo esse efeito mais pronunciado em climas secos, cujos valores de K_c também serão maiores.

Aqui será mostrada a metodologia apresentada pela FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977) para estimar o K_c das culturas. As culturas estão divididas por classe: culturas de ciclo curto (grãos e algumas olerícolas) e culturas de ciclo longo ou permanentes (banana, citrus, manga, uva e abacaxi).

Tabela 2. Limites aproximados da evapotranspiração da cultura (ETc) para o ciclo completo de desenvolvimento de algumas culturas (Doorenbos e Pruitt, 1977).

abacate	650 – 1000	milho	400 – 750
banana	700 – 1700	cebola	350 – 600
feijão	250 – 500	soja	450 – 825
café	800 – 1200	fumo	300 – 500
cana-de-açúcar	1000 – 1500	tomate	300 – 600
algodão	550 – 950	uva	450 – 900

a. Culturas de Ciclo Curto

O ciclo total da cultura é dividido em 4 fases. Alguns valores do coeficiente de cultura (Kc) para algumas dessas fases e para algumas culturas de ciclo anual estão apresentados na Tabela 3. Como referência, a faixa de duração total do ciclo de algumas dessas culturas e o percentual de duração para cada uma dessas 4 fases estão mostrados na Tabela 4, gerada a partir da adaptação de dados médios obtidos em diferentes localidades, segundo Doorenbos e Pruitt (1977).

Para facilitar a escolha do valor de Kc na fase 1 do ciclo da cultura, pode-se contar com o auxílio da seguinte equação, de acordo com a evapotranspiração de referência (ETo) e com o turno ou intervalo de irrigação (TI) escolhido para essa fase:

$$Kc = 1,41704 - 0,092412 \times ETo - 0,11001 \times TI + 0,0042672 \times ETo^2 + 0,0033743 \times TI^2 + 0,00028724 \times ETo \times TI \quad (R^2 = 0,981) \quad (3)$$

onde

Kc = coeficiente de cultura para a fase 1 do ciclo vegetativo de qualquer cultura de ciclo curto

ET_o = evapotranspiração de referência reinante na época da fase 1 (mm/dia, $1 \leq ET_o \leq 10$ mm/dia)

TI = turno ou intervalo de irrigação na fase 1 (dias, $2 \leq TI \leq 20$ dias)

R^2 = coeficiente de determinação do ajuste

A equação 3 foi gerada através de ajuste realizado nas curvas apresentadas de $K_c \times ET_o \times TI$ por Doorenbos e Pruitt (1977), para a estimativa dos valores de K_c para qualquer cultura de ciclo curto na fase 1 do seu ciclo de desenvolvimento.

As 4 fases ou estádios do ciclo de desenvolvimento são descritas como:

- (1) estágio inicial – corresponde ao início do crescimento da cultura, quando a superfície do solo não está completamente coberta pela cultura (cobertura do solo < 10%);
- (2) estágio de desenvolvimento vegetativo – corresponde de 10% até a 80% de cobertura do solo; na fase 2, o K_c tem valores crescentes, correspondendo ao final da fase 1 e ao início da fase 3;
- (3) estágio de florescimento ou reprodutivo – corresponde ao início da cobertura plena do solo (início do florescimento) até o início da maturação, que é indicada pela descoloração ou pela queda das folhas;
- (4) estágio de maturação – corresponde ao início da descoloração (ou queda) das folhas até a plena maturação ou o ponto de colheita.

Tabela 3. Coeficientes de cultura (Kc) para algumas culturas de ciclo curto, em 4 fases do ciclo de desenvolvimento, em função das condições climáticas predominantes (Doorenbos e Pruitt, 1977).

cultura	Umid. relativa		URmín >70%*		URmín <20%*		cultura	Umid. relativa		URmín >70%*		URmín <20%*	
	Vento (m/s)	Fase da cultura	0 - 5	5 - 8	0 - 5	5 - 8		Vento (m/s)	Fase da cultura	0 - 5	5 - 8	0 - 5	5 - 8
Todas	1		Usar a para	eq. 3 estimar	Usar a para	eq. 3 estimar	Feijão vagem	3		0,95	0,95	1,0	1,05
	2							4		0,85	0,85	0,9	0,9
Alface	3		0,95	0,95	1,0	1,05	Feijão seco	3		1,05	1,10	1,15	1,20
	4		0,9	0,9	0,9	1,0		4		0,3	0,3	0,25	0,25
Algodão	3		1,05	1,15	1,2	1,25	Girassol	3		1,05	1,1	1,15	1,2
	4		0,65	0,65	0,65	0,7		4		0,4	0,4	0,35	0,35
Amei-doim	3		0,95	1,0	1,05	1,1	Melão**	3		0,95	0,95	1,0	1,05
	4		0,55	0,55	0,6	0,6		4		0,65	0,65	0,75	0,75
Batata	3		1,05	1,1	1,15	1,2	Milho doce	3		1,05	1,1	1,15	1,2
	4		0,7	0,7	0,75	0,75		4		0,95	1,0	1,05	1,1
Beringela	3		0,95	1,0	1,05	1,1	Milho grãos	3		1,05	1,1	1,15	1,2
	4		0,8	0,85	0,85	0,9		4		0,55	0,55	0,6	0,6
Beterraba	3		1,0	1,0	1,05	1,1	Pepino (cons. fresco)	3		0,9	0,9	0,95	1,0
	4		0,9	0,9	0,95	1,0		4		0,7	0,7	0,75	0,8
Cebola verde	3		0,95	0,95	1,0	1,05	Rabane-te	3		0,8	0,8	0,85	0,9
	4		0,95	0,95	1,0	1,05		4		0,75	0,75	0,8	0,85
Cebola seca	3		0,95	0,95	1,05	1,1	Tomate	3		1,05	1,1	1,2	1,25
	4		0,75	0,75	0,8	0,85		4		0,6	0,6	0,65	0,65
Cenoura	3		1,0	1,05	1,1	1,15	Trigo	3		1,05	1,1	1,15	1,2
	4		0,7	0,75	0,8	0,85		4		0,25	0,25	0,2	0,2
Cruci-feras**	3		0,95	1,0	1,05	1,1							
	4		0,8	0,85	0,9	0,95							

*para valores de UR entre 20 e 70% fazer interpolação

**repolho, couve-flor, brócolis etc.

***exemplo adotado para a Figura 3

Tabela 4. Faixas de duração total do ciclo (em dias) e duração de cada uma das 4 fases (em percentagem do total) de algumas culturas de ciclo curto, segundo dados obtidos e adaptados de algumas regiões do mundo (Doorenbos e Pruitt, 1977).

cultura	Duração total do ciclo (dias)	Percentual* de duração de cada uma das 4 fases (1-2-3-4)	cultura	Duração total do ciclo (dias)	Percentual* de duração de cada uma das 4 fases (1/2/3/4)
alface	75 a 140	(27-37-26-10)	feijão-vagem	75 a 90	(21-34-33-12)
algodão	180 a 195	(16-27-31-26)	feijão seco	95 a 110	(16-25-40-19)
amendoim	130 a 140	(22-26-34-18)	girassol	125 a 130	(17-27-36-20)
batata	105 a 145	(21-25-33-21)	melão***	120 a 160	(20-28-37-15)
berinjela	130 a 140	(22-32-30-16)	milho (doce)	80 a 110	(23-29-37-11)
beterraba	70 a 90	(25-35-28-12)	milho (grãos)	125 a 180	(17-28-33-22)
cebola (seca)	150 a 210	(10-17-49-24)	pepino	105 a 130	(19-28-38-15)
cebola (verde)	70 a 95	(28-45-18-9)	rabanete	35 a 40	(20-27-40-13)
cenoura	100 a 150	(19-27-39-15)	tomate	135 a 180	(21-28-33-18)
crucíferas**	80 a 95	(26-37-25-12)	trigo	120 a 150	(13-20-43-24)

*percentual de duração em relação ao tempo de duração total (Exemplo: uma cultura com duração total de 120 dias que possui 20% de duração para a fase 1; 35% para a fase 2; 25% para a fase 3 e 20% para a fase 4 corresponde, respectivamente, a uma duração de 24, 42, 30 e 24 dias. Isso significa que a fase 1 inicia com 0% e termina com 20% - 0 a 24 dias - do ciclo total; a fase 2 inicia com 20% e termina com 55% - 25 a 66 dias - do ciclo total; a fase 3 inicia com 55% e termina com 80% - 67 a 96 dias - do ciclo total e a fase 4 inicia com 80% e termina com 100% - 97 a 120 dias - do ciclo total)

** repolho, couve-flor, brócolis etc. *** exemplo adotado para a Figura 3

Os valores de Kc para os 4 estádios de desenvolvimento da cultura devem ser plotados como a Figura 3 exemplifica para a cultura do melão. Para simplificação, os valores de Kc para essas 4 fases são representados como linhas retas.

Os passos necessários para obter os diferentes valores de Kc nos estádios são dados a seguir:

1. estabelecer a data de plantio (ou semeadura) e informações locais do clima ou de regiões próximas de condições similares;
2. determinar a duração total do ciclo de desenvolvimento e a duração de cada fase a partir de informações locais (como referência, verificar a Tabela 4);

3. estágio inicial (fase 1): prever o turno de irrigação ou de chuva; para um valor predeterminado de E_{To} , obter o K_c oriundo da equação 3 e plotar o valor de K_c como está representado na Figura 3;
4. estágio de desenvolvimento vegetativo (fase 2): para uma conhecida condição de clima (umidade relativa e vento), selecionar o valor de K_c da Tabela 3 para a fase 3. O K_c para a fase 2 será plotado como uma linha reta ascendente entre o valor da fase 1 e o da fase 3;
5. estágio reprodutivo (fase 3): para uma conhecida condição de clima (umidade relativa e vento), selecionar o valor de K_c da Tabela 3, assumi-lo como uma linha reta (valor constante) até o início da fase 4;
6. estágio de maturação (fase 4): também obter o K_c da Tabela 3 e plotá-lo como o último valor do ciclo (maturação completa ou ponto de colheita) e ligar esse valor com uma linha reta até o final da fase 3 (ver Figura 3).

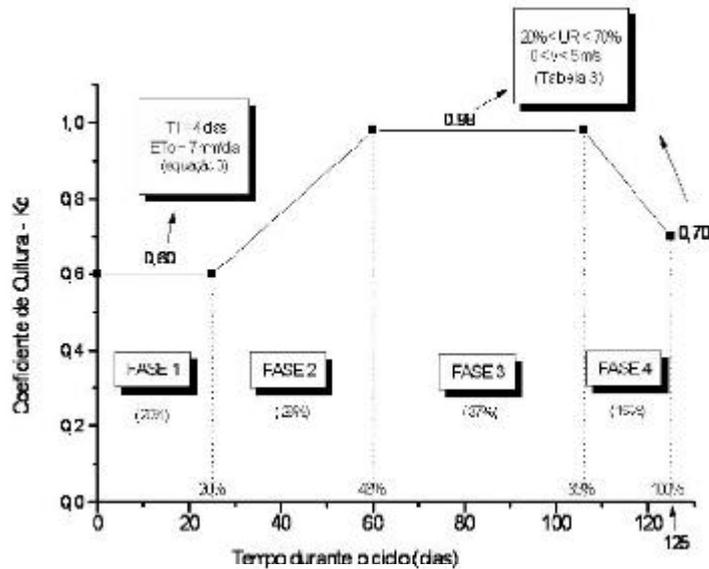


Figura 3. Exemplo da curva do coeficiente de cultura (Kc) para o ciclo total de uma cultura de melão (ciclo completo com 125 dias), cujas divisões das fases e valores foram obtidos com o auxílio das Tabelas 3 e 4 e da equação 3

a. Cultura da Banana:

Os valores de Kc para a cultura da banana são dados na Tabela 5 para regiões tropicais. Os valores decrescentes do Kc após o décimo mês refletem o rápido declínio da área foliar ativa da planta mãe. Os baixos valores no período inicial se aplicam onde houver muita cobertura morta no solo. Se a cultura estiver em solo nu e em regiões de chuvas freqüentes, os valores de Kc podem ser de 0,8 a 1,0 e a equação 3 pode ser utilizada.

Tabela 5. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para a banana cultivada em clima tropical (Doorenbos e Pruitt, 1977).

Messapóso platio:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kc	0,4	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	1,1	1,1	0,9	0,8	0,8	0,95	1,05

b. Culturas de Citrus e de Manga:

Os valores de Kc para citrus incluem diferentes coberturas de solo: solo limpo (com controle de plantas invasoras) ou solo sem controle de plantas invasoras (Tabela 6). Esses mesmos valores têm sido utilizados para a cultura da manga.

O efeito de ventos mais fortes é desprezado, tendo em vista que citrus têm bom controle de transpiração. Esse controle ou resistência estomática varia com a umidade relativa e a temperatura do ar, ou seja, alta resistência sob condições quentes e secas e baixa resistência sob condições mais úmidas e frias. No entanto, os valores apresentados na Tabela 6 necessitam de um acréscimo de 15 a 20 % durante a estação de verão em climas mais úmidos e frios.

Em pomares mais jovens com baixa porcentagem de cobertura do solo, os valores de Kc são assumidos de 20 a 50 % mais baixos em relação à cobertura das árvores adultas. Sob chuva ou irrigações frequentes, os valores para cultivo em solo limpo se aproximam daqueles com nenhum controle de ervas daninhas.

Alguns estudos indicam valores mais elevados do Kc (de 10-15 %) para culturas de toranja e de limão quando comparadas com outros citrus.

Tabela 6. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para citrus¹ cultivados no hemisfério Sul, cujo cultivo seja em regiões predominantemente secas com vento fraco a moderado (Doorenbos e Pruitt, 1977).

Mês:	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pomar adulto com >70% cobertura												
Cultivo limpo	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,7	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,65
Sem controle ²	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9	0,85	0,85	0,85	0,85
Pomar jovem com >50% cobertura												
Cultivo limpo	0,55	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,65	0,65	0,6	0,6	0,6	0,55
Sem controle ²	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9	0,85	0,85	0,85	0,85
Pomar jovem com >20% cobertura												
Cultivo limpo	0,45	0,45	0,45	0,45	0,5	0,5	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45
Sem controle ²	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	1,0	1,0	0,95	0,95	0,95	0,95

¹os valores desta tabela também têm sido usados para a cultura da manga

²cultivo sem controle de plantas invasoras

c. Cultura da Uva:

Os valores de Kc para a cultura da uva podem variar consideravelmente em função das práticas culturais, das variedades, do espaçamento etc. As plantas cultivadas normalmente em solo limpo utilizam menos água do que qualquer outra cultura devido às suas práticas culturais, resultando em apenas 30 a 50 % de cobertura do solo. Também há um maior controle da transpiração pelos estômatos em comparação com outras culturas.

Na Tabela 7 estão os valores de Kc para cultivo em clima quente e seco em solo limpo. Os valores deverão ser reduzidos se a cobertura do solo for menor que 35 %.

Tabela 7. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para uva cultivada no hemisfério Sul, cujo cultivo seja em região predominantemente quente e seca e a cobertura do solo na fase reprodutiva seja de 30-35 %, sendo ainda sob cultivo limpo e vento fraco a moderado (Doorenbos e Kassam, 1979; Soares e Costa, 1998).

Mês:	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Idade cultura												
< 1 ano	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
1 a 2 anos	0,45	0,45	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,5	0,5
	Poda/floração		Flor./chumbinho		Des.fruto/matur.			Matur./colheita		Repouso fenol.		
> 2 anos	0 a 25 dias		26 a 40 dias		41 a 100 dias			101 a 120 dias		0 a 60 dias		
	0,4		0,5 a 0,6		0,7 a 0,85			0,7 a 0,5		0,5		

Por outro lado, no cultivo dito “em latada”, que cobre completamente o solo, deverão ser adotados valores diferentes dos apresentados na Tabela 7, os quais serão maiores segundo Soares e Costa (1998), que apresentam valores de Kc para diferentes percentuais de cobertura do solo.

d. Cultura do Abacaxi:

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), o valor de Kc para a cultura do abacaxi varia de 0,4 a 0,5 durante todo o período do ciclo da cultura.

Cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc) irrigada por sistema localizado

Foi visto, pela equação 2, o cálculo da ETc, que corresponde ao uso consuntivo estimado convencionalmente. Como também já foi visto, essa ETc pode ser estimada apenas a partir da evaporação da água do tanque Classe A da seguinte forma:

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

onde

ETc = evapotranspiração da cultura ou uso consuntivo estimado convencionalmente (mm/dia)

Kc = coeficiente da cultura (adimensional, Tabelas 3, 5, 6 e 7)

Kp = coeficiente do tanque Classe A (adimensional, Tabela 1)

As copas de plantas jovens e de culturas com espaçamentos maiores cobrem somente uma porção da área superficial do solo (menor projeção horizontal) e interceptam apenas uma fração da radiação incidente. As estimativas convencionais de requerimento de água de culturas jovens consideram parte da água aplicada que será perdida pelo uso consuntivo não efetivo. Essas perdas podem ser através da evaporação da superfície úmida do solo ou através da transpiração de vegetação indesejável (ervas daninhas).

A irrigação localizada reduz as perdas por evaporação ao mínimo. Portanto, a transpiração da cultura é considerada praticamente a água total consumida. Entretanto, a estimativa do uso consuntivo que assume uma superfície completamente úmida deve ser modificada para efeito de irrigação localizada.

A transpiração de uma cultura sob irrigação localizada é uma função da evapotranspiração (ETc) calculada convencionalmente e da dimensão da copa da planta. Ao se calcular as necessidades hídricas das culturas na irrigação localizada, deve-se, portanto, aplicar um coeficiente de redução (Kr) ou coeficiente de cobertura da seguinte forma:

$$ETc_L = Kr \times ETc \quad (5)$$

onde

30 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento
e manejo de sistemas de irrigação localizada

ET_c = evapotranspiração da cultura irrigada por sistema localizado
(mm/dia)

K_r = coeficiente de redução para irrigação localizada (adimensional,
 $K_r \leq 1$)

ET_c = evapotranspiração da cultura estimada convencionalmente
(mm/dia)

Se a estimativa da ET_c for através do tanque Classe A, a estimativa
da ET_{cL} poderá ser:

$$ET_{cL} = K_r \times K_c \times K_p \times ECA \quad (6)$$

cujas variáveis e respectivas unidades já foram especificadas
anteriormente.

Embora a estimativa precisa de K_r necessite de uma investigação
experimental mais profunda, pode-se utilizar uma das equações a
seguir propostas por alguns autores.

Keller e Karmeli (1974) propuseram:

$$K_r = Cs/85 \text{ ou } 1, \text{ assumindo o menor dos dois valores} \quad (7)$$

onde

K_r = coeficiente de redução (adimensional, $K_r \leq 1$)

Cs = porcentagem da área superficial do solo coberta (projetada)
pelas copas da cultura ao meio-dia solar (%)

Freeman e Garzoli, citados por Vermeiren e Jobling (1997),
propuseram:

$$K_r = (C_s/200) + 0,5 \quad (8)$$

As variáveis e as unidades da equação 8 são as mesmas definidas para a equação 7. A equação 8 foi baseada na hipótese de que a evaporação na parte da superfície não coberta pela cultura está em torno de 50 % da transpiração da cultura. Quando a cultura cobre todo o solo, $K_r = 1$. Quando não cobre mais do que uma pequena parte ($C_s < 50\%$), recomenda-se tomar $K_r = C_s/100$ para evitar valores elevados do K_r .

Decroix, também citado por Vermeiren e Jobling (1997), propôs:

$$K_r = (C_s/100) + 0,1 \text{ ou } 1, \text{ assumindo o menor dos dois valores} \quad (9)$$

As variáveis e as unidades da equação 9 são as mesmas definidas para a equação 7. O termo 0,1 da equação 9 leva em consideração o “efeito oásis”, que é importante quando a porcentagem de cobertura é baixa. Essa equação dá resultados razoáveis, porém o coeficiente obtido deve ser usado com cautela e recomenda-se fazer ensaios diretos no campo para aferi-lo.

Uma relação mais recente é apresentada por Keller e Bliesner (1990):

$$K_r = 0,1 \times \sqrt{C_s} \quad (10)$$

Da mesma forma que as equações 7, 8 e 9, as variáveis e as respectivas unidades são idênticas também para a equação 10. A equação 10 é baseada na observação de que, mesmo que a copa da planta seja muito pequena (por exemplo, $C_s = 1\%$ ou mais), a transpiração mínima da planta sob irrigação localizada será maior que $0,1 \cdot E_{Tc}$ (ou 10% da evapotranspiração da cultura calculada no

método convencional). Isto é considerado porque ocorre um “efeito oásis” (advecção) e alguma vegetação adicional comumente cresce na área umedecida pelos emissores. No entanto, quando as copas da planta se desenvolvem até atingirem a cobertura plena ($C_s = 100\%$) o $K_r = 1$.

A Tabela 8 apresenta os diferentes valores de K_r que resultam do cálculo das 4 equações apresentadas, segundo a porcentagem de cobertura do solo.

Tabela 8. Valores de K_r sugeridos por vários autores (equações 7, 8, 9 e 10).

Cobertura do solo C_s (%)	Valores de K_r , segundo:			
	Keller e Karmeli (eq. 7)	Freeman e Garzoli (eq. 8)	Decroix (eq. 9)	Keller e Bliesner (eq. 10)
10	0,12	0,10	0,20	0,32
20	0,24	0,20	0,30	0,45
30	0,35	0,30	0,40	0,55
40	0,47	0,40	0,50	0,63
50	0,59	0,75	0,60	0,71
60	0,70	0,80	0,70	0,77
70	0,82	0,85	0,80	0,84
80	0,94	0,90	0,90	0,89
90	1,00	0,95	1,00	0,95
100	1,00	1,00	1,00	1,00

Pela Figura 4, pode-se demonstrar como se estima a porcentagem de cobertura (C_s). Essa porcentagem é dada por:

$$C_s = (A_c/A_e) \times 100 \quad (11)$$

onde

C_s = porcentagem de cobertura (%)

A_c = área da copa projetada sobre o solo (m^2)

A_e = área dos espaçamentos entre linhas de plantio e entre plantas (m^2)

A área da copa (A_c) pode ser estimada aproximadamente pela área da elipse:

$$A_c = (\pi \times D_1 \times D_2) / 4 \quad (12)$$

onde

D_1 = diâmetro maior da elipse projetada no solo (m)

D_2 = diâmetro menor da elipse projetada no solo (m)

A área dos espaçamentos é:

$$A_e = EL \times EP \quad (13)$$

onde

EL = espaçamento entre linhas de plantio (m)

EP = espaçamento entre plantas (m)

Substituindo as equações 12 e 13 na equação 11, então a C_s fica:

$$C_s = (25,14 \times D_1 \times D_2) / (EL \times EP) \quad (14)$$

Um pomar maduro tem geralmente um valor máximo de C_s igual a 80%, tendo em vista que a copa tem uma projeção circular sobre um espaçamento quadrado, cujos lados são os espaçamentos entre fileiras e plantas, formando uma relação máxima de $\pi/4$ entre a área circular (da projeção da copa, A_c) e a quadrada (dos espaçamentos, A_e).

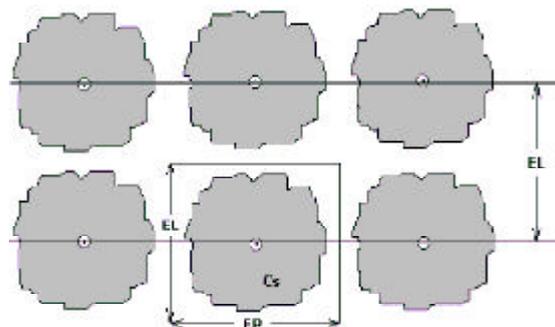


Figura 4. Esquema da projeção horizontal da cobertura da cultura sobre o solo (**Cs**), sendo **EL** o espaçamento entre linhas e **EP** o espaçamento entre plantas.

Alguns técnicos (IRRIGAÇÃO, s.d.) fazem uma correção para a área da copa (A_c) em função da relação entre o diâmetro da copa e a altura da planta, conforme está apresentado na Tabela 9. Assim, por exemplo, se uma árvore tem a sua altura duas vezes maior do que seu diâmetro, deverá ser multiplicado o fator de 1,08 sobre a área da sua copa (A_c).

Tabela 9. Valores do fator de correção para a área da copa (A_c) da cultura, em função da relação diâmetro/altura das plantas.

Relação diâmetro:altura	Fator de correção*	Relação diâmetro:altura	Fator de correção*	Relação diâmetro:altura	Fator de correção*
1:1	1,00	1:3	1,13	1:5	1,20
1:2	1,08	1:4	1,17	1:6	1,23

* O fator de correção é multiplicado pela área da copa (A_c)

Água Disponível no Solo

Se houver água disponível no solo, o movimento de água prossegue da planta para a atmosfera. Não havendo água disponível, o movimento cessa. Quais serão, então, os níveis ótimos de água no

solo? A procura desses níveis é que levou ao conceito de **Água Disponível**.

Além de outras importantes funções que o solo desempenha no sistema agrícola, ele é uma unidade armazenadora ou o reservatório de água para as plantas.

O movimento da água do solo para a planta e desta para a atmosfera é um processo complexo. Assim sendo, qualquer tentativa de quantificar a água disponível no solo não pode dar resultados universais. Por outro lado, existe a necessidade e a definição da água disponível para a possibilidade de um manejo agrícola racional. Definiu-se, então, uma quantidade de água disponível baseada em variáveis mais simples de quantificar, desde que se conheçam suas limitações.

Capacidade de Campo (CC) ou Limite Superior de Água Disponível

O “reservatório” de água do solo é considerado 100% cheio quando sua umidade é a de saturação ao longo do perfil e é vazio quando o solo se encontra completamente seco.

Quando o solo está saturado, o potencial matricial (ψ_m) é nulo e o perfil perde água por drenagem devido a variações do potencial gravitacional (ψ_g) ao longo do perfil. Ao drenar, o perfil vai se tornando não saturado e a umidade diminui continuamente. Por isso, essa água que drena é denominada de água gravitacional. A velocidade da drenagem depende da condutividade hidráulica do solo e, em geral, é rápida para solos arenosos e lenta para solos argilosos. Como a drenagem se dá de cima para baixo, a distribuição de umidade no perfil de um solo homogêneo é tal que ela aumenta em profundidade. Com o passar do tempo, a variação

no potencial matricial do solo vai aumentando até que esse se iguale à variação no potencial gravitacional. Nessa condição, a drenagem interna se reduz a valores desprezíveis; aí se diz que o solo está na capacidade de campo (CC). Este é o limite superior de água disponível.

Verificou-se que, na maioria dos solos e na maioria das situações, o solo se encontra na CC quando o ψ_m oscila na faixa de $-1/10$ (solos arenosos) a $-1/3$ atm (solos argilosos) (de -10 a -30 kPa, respectivamente).

A melhor forma de determinar a CC é no próprio local, com a área sendo inundada e coberta com plástico para evitar a evaporação. A partir dos dias seguintes, amostras são coletadas diariamente até a profundidade desejada. No momento em que a taxa de drenagem interna for desprezível, esse será o valor da CC (Reichardt, 1987). Outro método menos preciso, mas aceito comumente na prática, é a determinação em laboratório com o equipamento utilizado para determinar a curva de retenção de água do solo. Para isso, usa-se o potencial matricial de $-1/10$ ou $-1/3$ atm (-10 ou -30 kPa) para a determinação.

Ponto de Murcha Permanente (PMP) ou Limite Inferior de Água Disponível

A partir do momento em que o solo não suprir mais a demanda de água pelo sistema planta-atmosfera, a planta entra em murcha. Isso significa que a reserva de água do solo está no fim ou que a demanda está muito alta. O limite inferior de umidade, no qual a reserva de água do solo se esgota, é denominado ponto de murcha permanente (PMP). Este ponto é mais difícil de ser determinado, pois envolve a condutividade hidráulica (K) do solo quando “bem” seco. A forma prática sugerida despreza a condutividade hidráulica e

é feita com plantas de girassol, que são submetidas a estresses hídricos até que não recuperem a turgidez, mesmo em ambiente com 100% de umidade relativa. Nessas condições, o solo se encontra no PMP. Esse valor foi verificado estar em torno de -15 atm (-1500 kPa). Por isso, em laboratório, ele é determinado nesse potencial com o mesmo equipamento utilizado para determinar a curva de retenção.

Água Total Disponível (ATD)

A água total disponível no solo (ATD) é definida como a água contida no solo que está entre a umidade da capacidade de campo (CC) e a umidade do ponto de murcha permanente (PMP). A Figura 5 mostra um esquema representativo para a ATD e outras formas de apresentação da água em solos argilosos e arenosos. Na referida figura também está representada a água gravitacional (AG), que é a água contida no solo entre a umidade de saturação e a umidade da CC, assim como também está esquematizada a água não disponível (AND), que é aquela que está contida entre o PMP e o solo completamente seco (umidade = 0).

A água gravitacional (AG) pode ser aproveitada pelas plantas enquanto permanecer na zona radicular; mas como ela drena rapidamente, em muitas situações ultrapassa a zona das raízes e se perde em horizontes mais profundos.

A curva de retenção da água no solo (um modelo é exemplificado na Figura 6) auxilia bastante a definição da Água Total Disponível (ATD).

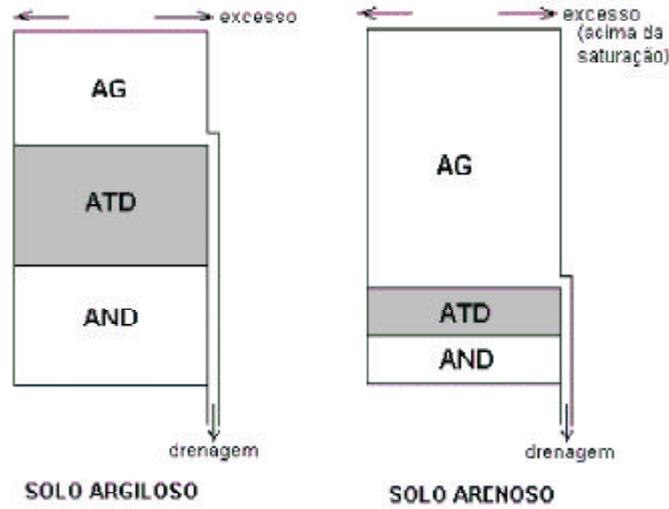


Figura 5. Proporções entre água gravitacional (AG), água total disponível (ATD) e água não-disponível (AND) para solos argiloso e arenoso

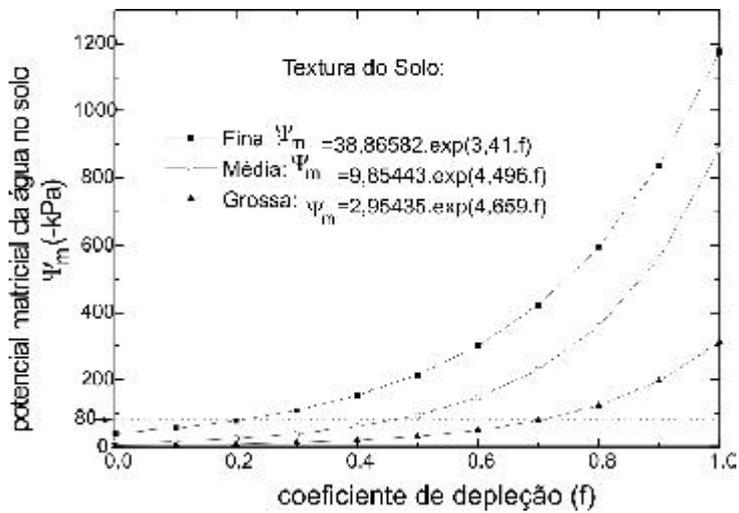


Figura 6. Curva de retenção da água no solo para o perfil 0-90 cm do Latossolo Vermelho-Escuro da área experimental da Embrapa Milho e Sorgo (Albuquerque, 1997)

Na maioria das situações, a ATD de um solo não é conhecida. Nesses casos pode-se estimá-la, de modo menos preciso, por meio dos valores constantes na Tabela 10, desde que se conheça ou se tenha noção da textura do solo.

A utilização da Tabela 10 requer 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, porém se comportam como solos de textura grossa (ATD entre 80 e 100 mm/m) em função da presença de óxidos de ferro que favorecem a formação de agregados pequenos, bastante estáveis, de comportamento semelhante à areia (Resende et al., 1995).

Tabela 10. Valores aproximados para algumas características físico-hídricas dos solos, segundo a sua classe textural (Vermeiren e Jobling, 1997).

Textura do solo	VIB ¹ cm/h	Densidade g/cm ³	CC ² %peso	PMP ³ %peso	ATD ⁴ %peso	ATD ⁵ 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)

¹ VIB = velocidade de infiltração básica. Primeiro valor representa a média e os valores entre parênteses representam a faixa de variação

² CC = umidade do solo na capacidade de campo

³ PMP = umidade do solo no ponto de murcha permanente

⁴ ATD = água total disponível = (CC - PMP)

⁵ ATD em lâmina de água por profundidade de solo

40 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento
e manejo de sistemas de irrigação localizada

A água total disponível pode, então, ser representada pela equação:

$$ATD = (CC - PMP) \times 10 \quad (15)$$

onde

ATD = água total disponível no solo (mm de água/cm de solo)

CC = umidade do solo na capacidade de campo (m^3/m^3 ou cm^3/m^3)

PMP = umidade do solo no ponto de murcha permanente (m^3/m^3 ou cm^3/cm^3)

10 = constante necessária para conversão de unidades

É comum os resultados provenientes dos laboratórios virem expressos em % peso para CC e para PMP, como se apresentam na Tabela 10; então a equação 15 pode ser escrita de outra forma:

$$ATD = \frac{(CC - PMP)}{10} \times d \quad (16)$$

onde

ATD = água total disponível no solo (mm de água/cm de solo)

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

Água Facilmente Disponível (AFD)

A água total disponível (ATD), como já foi visto, depende da textura e da estrutura do solo; portanto, é variável com o tipo de solo. Apesar do conceito de ATD definir que toda a água em sua faixa está disponível para a planta, na realidade a água é mais facilmente disponível quando está próxima da capacidade de campo (CC). Como pode ser observado pela curva de retenção (Figura 6), à medida em que há extração de água pelo sistema radicular das plantas, o potencial da água no solo aumenta e a água restante torna-se mais difícil de ser retirada, tendo em vista estar retida a uma maior sucção.

A Figura 7 mostra as curvas do coeficiente de depleção (f) da água no solo em função do potencial matricial (ψ_m) para solos de diferentes texturas. O valor de $f = 0$ representa que não há depleção, ou seja, solo com umidade na capacidade de campo, e $f = 1$ representa solo sem água disponível, ou seja, no ponto de murcha permanente. As curvas são diferentes para cada tipo de solo por causa da diferença na distribuição dos tamanhos de poros. Nota-se que a maior parte da ATD em solo de textura grossa (arenosos) está retida no potencial maior que -100 kPa, enquanto que em solos de textura fina (argilosos) a maior parte está retida em potenciais bem menores do que -100 kPa.

Devido a esse maior grau de dificuldade de extração de água pelas plantas em potenciais menores é que se definiu o termo *Água Facilmente Disponível* (AFD). A AFD é usada no lugar da ATD porque não se deve deixar que o conteúdo de água no solo atinja o PMP. Por isso, em função da cultura, das condições de clima e de solo, é estabelecido o coeficiente de disponibilidade ou de depleção (f),

tendo em vista o maior ou menor grau de dificuldade que a planta poderá ter para extrair água do solo.

Então, a AFD é definida como:

$$AFD = f \times ATD \quad (17)$$

onde

AFD = água facilmente disponível (mm/cm de solo)

f = coeficiente de disponibilidade ou de depleção da água no solo (adimensional, $0 < f < 1$ – Tabela 11)

ATD = água total disponível (mm/cm de solo)

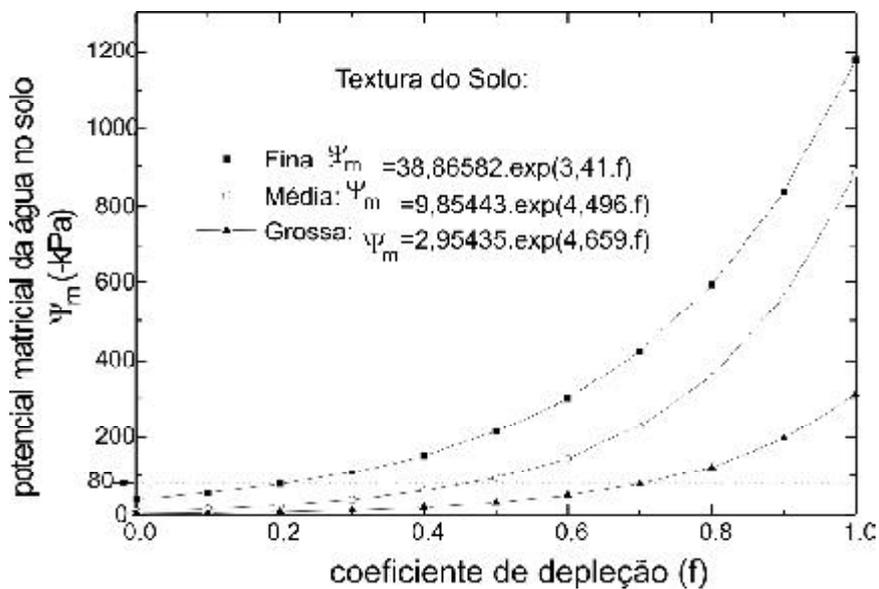


Figura 7. Coeficiente de depleção (f) da água no solo em função do potencial matricial da água no solo para solos de diferentes texturas (dados adaptados de Grattan et al., 1989).

O coeficiente f estabelece o conteúdo da água 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 culturas altamente exigentes em água (como as hortaliças), o valor de f está em torno de 0,25, permanecendo o solo com uma reserva de 75%. Culturas como cereais e pastagens podem ter o valor de f em torno de 0,5 e as fruteiras perenes em 0,4 (Doorenbos e Kassam, 1979). A Tabela 11 fornece valores de f de acordo com a evapotranspiração máxima da cultura com o respectivo grupo a que pertence.

Tabela 11. Coeficiente de depleção (f) da água no solo para grupos de cultura e evapotranspiração máxima (ET_m) (Doorenbos e Kassam, 1979).

Grupo de Cultura ¹	ET _m (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	

¹cebola, pimentão, batata

²banana, repolho, uva, ervilha, tomate

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

⁴agodão, milho, azeitona, açafrão, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar, fumo

Profundidade Efetiva do Sistema Radicular (Z)

A profundidade efetiva do sistema radicular (Z) pode ser estimada, para algumas culturas, pela Tabela 12. Nessa tabela, estão os valores após a cultura ter atingido o seu pleno desenvolvimento; na fase inicial, esses valores devem ser estimados menores, pois o sistema radicular está se desenvolvendo.

Tabela 12. 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 fase inicial, o sistema radicular vai se desenvolvendo a partir da profundidade de semeadura até atingir o seu valor máximo, que deve ocorrer no término da fase 2 em culturas de ciclo curto. 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 8.

Ao se assumir uma profundidade efetiva para o sistema radicular (Z), pode ser que, na realidade, esse esteja mais raso ou mais profundo. Assim, pode-se enfatizar o seguinte:

- a) se o Z estiver na realidade mais raso do que o previsto – isso significa que o solo na zona radicular ficará seco por mais tempo, com irrigações menos freqüentes;
- b) se o Z estiver na realidade mais profundo do que o previsto – isso significa que o solo na zona radicular permanecerá sempre úmido, com irrigações mais freqüentes.

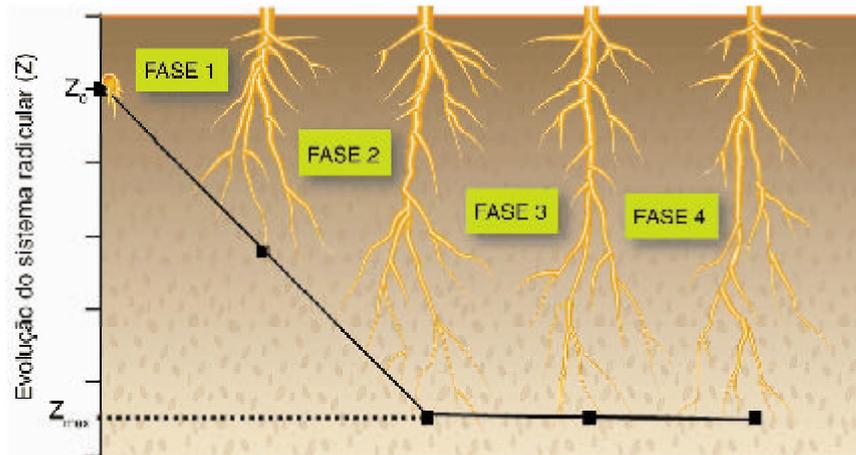


Figura 8. Estimativa do desenvolvimento do sistema radicular de culturas de ciclo curto em função das fases do ciclo da cultura (Z_0 é a profundidade de semeadura e Z_{max} é a profundidade efetiva do sistema em seu desenvolvimento máximo)

Lâmina Líquida e Turno de Irrigação

Lâmina Líquida de armazenamento (LLarm)

Na irrigação convencional, a lâmina líquida (LL) de água que se adiciona ao solo umedece todo o volume do solo na zona das raízes. Porém, na irrigação localizada, considerando o fato de que só uma parte do volume do solo é umedecido, a LL que fica armazenada no solo é expressa em:

$$LL_{arm} = \frac{AFD \times Z_{max} \times P}{100} \quad (18)$$

onde

AFD = água facilmente disponível (mm de água/cm de solo – Tabelas 10 e 11);

Z_{max} = profundidade máxima efetiva do sistema radicular (cm – Tabela 12);

P = volume do solo molhado (expresso em % do volume total).

No cálculo da lâmina líquida (LL_{arm}) para sistemas de irrigação qu

e molham toda a superfície do solo, como os sistemas de aspersão, o valor de P da equação 18 é 100%. Entretanto, o sistema de irrigação localizada molha apenas fração da superfície do solo ($P < 100\%$) num padrão de umedecimento que depende da textura do solo, da permeabilidade horizontal e vertical, da sucção capilar, da presença ou da ausência de camadas impermeáveis, do volume de água aplicado, da vazão do emissor e da umidade inicial do solo.

A equação 18 pode ser usada tanto para fazer o manejo quanto para o dimensionamento do sistema de irrigação, desde que se considere o valor de P como a condição mais crítica da irrigação para esse último caso (adota-se o máximo valor que o P pode assumir).

Medição ou Estimativa da Porcentagem de Solo Molhado (P)

Em solos com textura fina (argilosos ou siltosos), as forças capilares são fortes e a força gravitacional pode ser quase desprezada. Nesses solos, o padrão de infiltração tem uma forma de bulbo com um umedecimento lateral às vezes maior que o vertical. Em solos arenosos profundos, as forças capilares são fracas e a força gravitacional tem uma influência mais pronunciada. A componente vertical do fluxo é maior, enquanto a componente horizontal é menor, o que faz com que a forma do bulbo seja mais alongada no sentido vertical. Em solos de textura franca, com

horizontes superiores arenosos e inferiores argilosos, o bulbo tem uma pequena forma de pera (Figura 9).

Muitos pesquisadores têm estudado modelos para calcular o padrão de distribuição em função das propriedades físicas dos solos. Os métodos são complicados, trabalhosos e os resultados pouco confiáveis, dada a heterogeneidade dos solos.

É muito difícil fazer previsão sobre o padrão de distribuição de água no solo. Portanto, é aconselhável utilizar ensaios de campo ou métodos empíricos até que se tenham desenvolvidos métodos de cálculo matemático mais fáceis e confiáveis. No manual 36 dos *Estudos FAO em Irrigação e Drenagem* (Vermeiren e Jobling, 1997) há uma descrição para fazer medições no campo para obter a distribuição de água no solo.

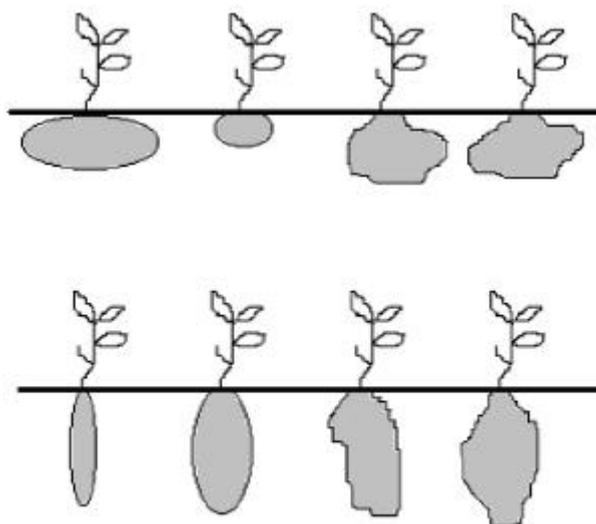


Figura 9. Padrões de infiltração de água no solo

Com a ajuda de ábacos, como os das Figuras 10 e 11, pode-se determinar a extensão do bulbo úmido. Deve-se considerar, no entanto, que esses ábacos foram obtidos a partir de um número limitado de ensaios de campo. Portanto, os valores obtidos devem ser utilizados com cuidado e como uma primeira aproximação.

Como já se comentou, o valor de P depende do tipo de solo, da vazão e do espaçamento dos emissores sobre as tubulações laterais e da distância entre essas.

Não se tem estabelecido um volume mínimo para P. Já se demonstrou que, mesmo que se aplique um volume referente à quarta parte do sistema radicular ($P = 25\%$), maçãs jovens continuam crescendo normalmente. Um valor de 50% parece ser suficiente. Uma média razoável para o cálculo de um projeto é umedecer pelo menos $1/3$ ($P = 33\%$) do volume da zona radicular potencial, no caso de um pomar onde as plantas estejam muito espaçadas. Se as plantas estão juntas, deve-se umedecer todo o volume do solo para assegurar a cada planta água em quantidade suficiente. Em uma área com chuvas intermitentes intensas durante o ciclo e onde a irrigação tem caráter complementar, P igual a 20% parece ser uma base razoável de cálculo.

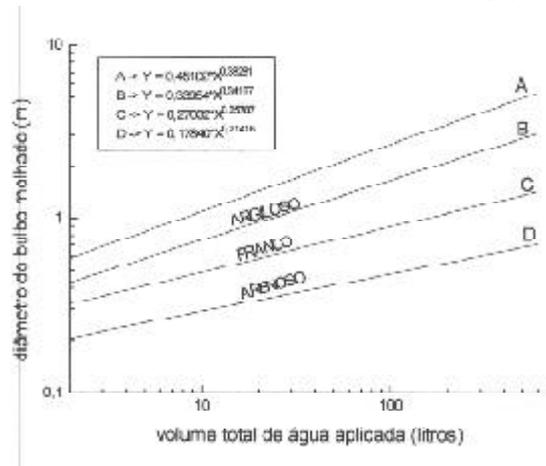


Figura 10. Guia que permite calcular aproximadamente o diâmetro do bulbo molhado em função do volume total aplicado por irrigação para solos de diferentes texturas.

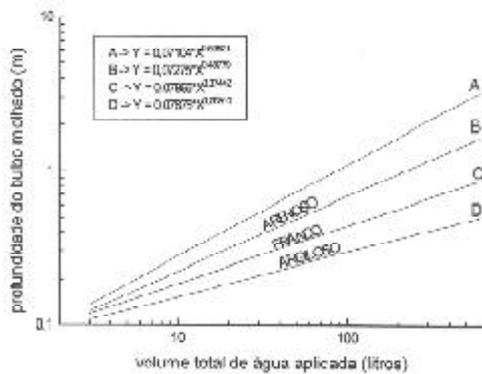


Figura 11. Guia que permite calcular aproximadamente a profundidade do bulbo molhado em função do volume total aplicado por irrigação para solos de diferentes texturas.

No caso de culturas anuais em fileiras, deve-se umedecer uma faixa de solo que possa beneficiar uma ou duas fileiras. Se os emissores estão espaçados a 0,8 ou 0,9 vez o diâmetro horizontal do bulbo, então de 90 a 95% da faixa estarão umedecidos e a largura mínima da zona molhada será de aproximadamente 90% da largura total da faixa.

Keller e Karmeli (1974) desenvolveram um guia para a estimativa de porcentagem do volume umedecido (P). Os valores propostos figuram na Tabela 13 e permitem calcular o valor de P no caso de tubulações laterais isoladas, em linhas retas e eqüidistantes, equipadas com emissores uniformemente espaçados para distintas vazões e solos de texturas grossa, média ou fina. O espaçamento entre emissores indicado na Tabela 13 permite ter uma faixa contínua de solo umedecido de largura uniforme de aproximadamente 30 cm abaixo da superfície do solo. Os valores indicados são válidos para condições médias, quando se aplicam aproximadamente 40 mm de lâmina por irrigação.

Tabela 13. Guia* para determinar porcentagem de solo molhado (P) (Keller e Karmeli, 1974).

Espaçamen- to entre tubulações laterais ELL (m)	Vazão dos emissores														
	< 1,5 L/h			2,0 L/h			4,0 L/h			8,0 L/h			> 12 L/h		
	Espaçamento recomendado para os emissores na tubulação lateral (EE), em m														
	Em solos de textura grossa (G), média (M) e Fina (F)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0
	Porcentagem de solo umedecido P (%)														
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6,0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

* Para o caso de uma tubulação lateral retilínea equipada com emissores uniformemente espaçados que aplicam uma lâmina de 40 mm por turno de irrigação sobre toda a superfície

Para utilizar a Tabela 13, entra-se na coluna da esquerda com o espaçamento entre tubulações laterais, encontrando-se os valores de P a partir das distintas combinações entre tipo de solo e vazão do emissor, para uma das quais está indicado o espaçamento entre tubulações laterais que resulte numa faixa umedecida contínua.

Quando a irrigação é efetuada mediante pequenas lâminas, deve-se utilizar a Tabela 13 com um valor que seja a metade da vazão real dos emissores. Inversamente, quando existem camadas de argilas, de areia ou outras descontinuidades no perfil do solo que aumentem a componente horizontal da infiltração, deve-se utilizar a Tabela 13 para uma vazão que pode ser até duas vezes a vazão real.

Os valores da Tabela 13 são válidos para calcular P no caso de uma tubulação lateral isolada, reta e equipada com emissores uniformemente espaçados, como está na Figura 12.

- 52 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

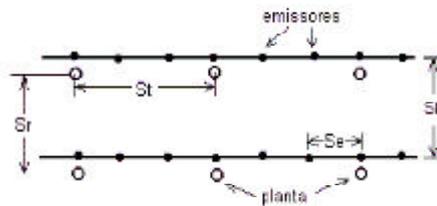


Figura 12. Irrigação localizada com apenas uma tubulação lateral por fileira

Às vezes, utilizam-se duas tubulações laterais por fileira ou os emissores se concentram próximos das plantas em lugar de tê-los uniformemente distribuídos na tubulação lateral. Para tal (Figura 13), os valores de P, obtidos da Tabela 13, devem ser ajustados de acordo com a seguinte fórmula:

$$P = \frac{P_1 \times S_1 + P_2 \times S_2}{ELP} \quad (19)$$

onde

ELP = espaçamento entre fileiras de planta;

S_1 = espaçamento interno (entre as duas tubulações laterais de uma fileira), que deve se tornar igual ao valor ELL da Tabela 13m, que corresponde para $P = 100\%$ para os diferentes dados (vazão e espaçamento dos emissores, tipo de solo);

S_2 = espaçamento maior entre laterais ($S_2 = ELP - S_1$);

P_1 = valor de P na Tabela 13, com $ELL = S_1$;

P_2 = valor de P na Tabela 13; com $ELL = S_2$.

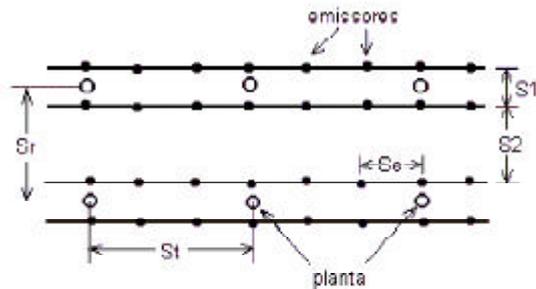


Figura 13. Irrigação localizada com duas tubulações laterais por fileira

Há casos (Figura 14) em que pode haver emissores com várias saídas ou vários emissores concentrados com uma só saída nas tubulações laterais (chamadas com prolongamento com multi-saída) ou também numa tubulação lateral única, disposta em ziguezague. Emprega-se, então, a seguinte fórmula:

$$P = 100 \times \frac{n \times S_{pd} \times S_h}{EP \times ELP} \quad (20)$$

onde

n = número de pontos ou de emissores por planta;

S_{pd} = distância entre os emissores próximos da mesma planta;

S_h = largura da faixa úmida, correspondente à mesma definição de S_1 da equação 19;

ELP = espaçamento entre fileiras de plantas;

EP = espaçamento entre plantas nas fileiras.

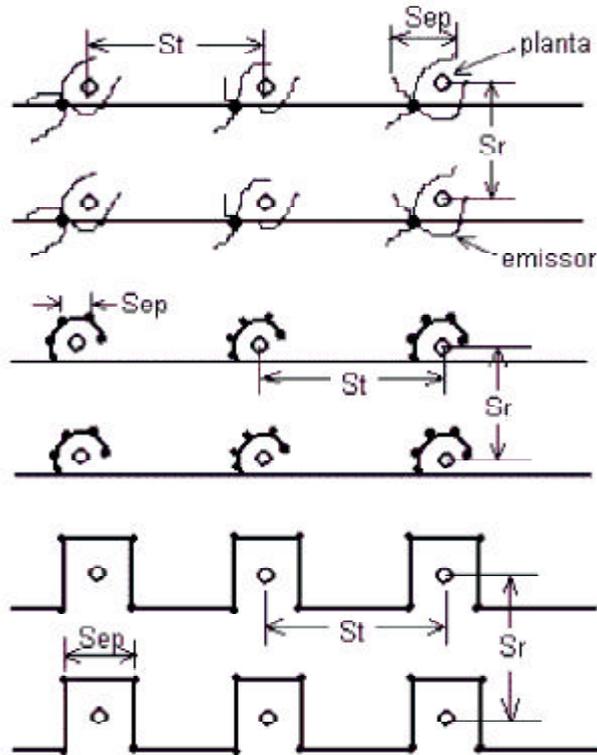


Figura 14. Irrigação localizada com emissores com várias saídas, com prolongamento de multi-saídas e laterais em ziguezague

Turno de Irrigação (TI)

Conhecendo-se a necessidade de água em qualquer período da cultura, que pode ser obtida da equação 6 para o caso específico da irrigação localizada, e a lâmina líquida (equação 18) pode-se obter o turno de irrigação (intervalo entre irrigações) para o período considerado a partir da relação:

$$TI = \frac{LL_{arm}}{ETc_L} \quad (21)$$

onde

TI = turno de irrigação (dias);

LL = lâmina líquida de água armazenada no solo (mm - equação 18);

ET_{c_L} = evapotranspiração ou uso consuntivo da cultura em irrigação localizada (mm/dia – equação 6).

Para propósitos de projeto, a ET_{c_L} da cultura madura (cobertura do solo C_s máxima esperada) poderia ser usada para dimensionamento do sistema. Porém, em determinadas fases da cultura ou mesmo em função da estação do ano de menor demanda hídrica, os componentes LL e ET_{c_L} da equação 21 podem mudar, fazendo variar também o intervalo entre irrigações.

Outro aspecto a levantar é que os sistemas de irrigação não são dimensionados com o objetivo de permitir uma evapotranspiração máxima em todo o momento. Por outro lado, a cultura não deve sofrer danos. O benefício ótimo é obtido quando se projeta o sistema para satisfazer uma proporção suficientemente alta da evapotranspiração máxima. Atualmente, distribuições de frequência de evapotranspiração máxima têm sido usadas como critério para essa tomada de decisão, considerando um nível de 75% de probabilidade de ocorrência.

Na realidade, o turno de irrigação real a ser usado é uma decisão relativa ao manejo. Por exemplo, assumindo um turno fixo de 1 dia a lâmina líquida da equação 18 fica igual a ET_{c_L} da equação 6, simplificando o processo de dimensionamento e de manejo.

Lâmina Bruta de Irrigação (LB)

A lâmina bruta de irrigação é baseada na lâmina líquida de irrigação, nas eficiências do sistema e na necessidade de lâminas extras de lixiviação para um controle de salinização, por exemplo.

Desse modo, a lâmina bruta (LB) é dada por:

$$LB = \frac{LL}{Ef} + Lr \quad (22)$$

onde

LB = lâmina bruta de irrigação (mm);

LL = lâmina líquida de irrigação (mm);

Ef = eficiência de irrigação (adimensional, $0 < Ef < 1$);

Lr = lâmina complementar necessária para lavagem do solo (mm).

Eficiência de Irrigação (Ef)

A eficiência de irrigação localizada é basicamente uma função da uniformidade de aplicação, mas também depende de:

Perdas menores – devido ao escoamento superficial, vazamentos, fluxos no filtro e na linha e drenagem;

Perdas inevitáveis – como a percolação profunda, devido ao padrão de molhamento do solo (bulbo) e chuva fora de época;

Perdas evitáveis – resultantes de programação inadequada.

A eficiência representa a porcentagem bruta da água aplicada que é benéficamente utilizada para uso consuntivo da cultura.

A eficiência global de aplicação de água na parcela na irrigação localizada pode ser definida como:

$$E_f = K_s \times CUIL \quad (23)$$

onde

E_f = eficiência de irrigação global (adimensional, $0 < E_f < 1$);

K_s = representa a razão entre a média da água armazenada no sistema radicular e a média da água aplicada (adimensional, $0 < K_s < 1$);

$CUIL$ = coeficiente de

O K_s expressa a eficiência do solo em armazenar água e leva em consideração as perdas inevitáveis (percolação profunda e outras).

O $CUIL$ expressa a uniformidade de aplicação de água pelos emissores.

O valor de K_s depende da maneira como se realiza a irrigação (programação lâmina-freqüência), uma vez que a irrigação localizada deve abolir ou minimizar a perda por percolação profunda. No entanto, em solos muito permeáveis e com baixa capacidade de retenção de água, essas perdas podem ocorrer ou ser mais elevadas. A Tabela 14 apresenta algumas sugestões para o K_s , segundo a textura do solo.

Tabela 14. Valores do coeficiente Ks (eq. 23) para solos de diferentes texturas.

Textura do Solo	Ks
Muito Grossa	0,87
Grossa	0,91
Média	0,95
Fina	1,0

Na primeira aproximação, alguns autores sugeriram fixar em 10% da lâmina líquida a quantidade de água complementar que se necessita para a lavagem e as perdas inevitáveis por percolação profunda. Isso faz com que a equação para lâmina bruta (equação 22) seja:

$$LB = \frac{1,1 \times T.L.}{CUIL} \quad (24)$$

Coeficiente de Uniformidade em Irrigação Localizada (CUIL)

Em irrigação localizada, a água é transportada por uma rede de tubulações, sob pressão, até um ponto onde se infiltra no solo. A uniformidade de aplicação da água às plantas depende totalmente da uniformidade de distribuição, ou melhor, da variação relativa das vazões distribuídas. A variação da vazão entre os emissores é uma função das variações da pressão da rede, assim como das características próprias dos emissores.

O objetivo essencial do projeto de uma rede de irrigação localizada é abastecer adequadamente as plantas. Portanto, é importante para a uniformidade de aplicação a relação entre a vazão mínima e a máxima entregues pelos emissores ao conjunto da rede. Esta relação se expressa pelo coeficiente de uniformidade (CUIL).

Na prática, geralmente não é possível conhecer todas as variáveis que interferem no cálculo da uniformidade dos emissores. Esses

fatores podem ser entupimentos parciais, variações na temperatura da água, idade dos emissores etc. Mas é possível analisar um projeto e estimar satisfatoriamente as variações na vazão dos emissores que tais fatores podem causar. Porém, os outros itens podem ser conhecidos. O fabricante poderia fornecer informações sobre a relação da pressão com a vazão de emissão e também sobre a variabilidade de fabricação para o emissor. Dados topográficos do local selecionado e a análise hidráulica do sistema proposto podem fornecer a informação necessária acerca das variações esperadas na pressão.

O conceito básico e as fórmulas usadas para a determinação do coeficiente de uniformidade foram inicialmente publicados por Keller e Karmeli (1974). A base das fórmulas propostas por esses autores é a relação entre a vazão mínima do emissor e a vazão média. Esse processo trata a vazão de emissão abaixo da média como sendo mais importante do que a superior à média. A razão para isso é porque na irrigação localizada a água é aplicada em pouca quantidade somente para uma parte do sistema radicular da planta. Dessa forma, é mais importante considerar a subestimativa na aplicação de água do que a superestimativa.

Para a estimativa do coeficiente de uniformidade dos emissores, a seguinte equação foi proposta por Keller e Karmeli (1974):

$$CUIL = 100 \times \left(1 - 1,27 \times \frac{v}{\sqrt{Nc}} \right) \times \frac{q_{\min}}{q_{\text{med}}} \quad (25)$$

onde

CUIL = coeficiente de uniformidade de aplicação em irrigação localizada (%);

v = coeficiente de fabricação do emissor, que é fornecido pelo fabricante;

Ne = número de emissores por planta;

q_{\min} = vazão mínima dos emissores calculada a partir da curva da vazão nominal x pressão (L/h);

q_{med} = vazão média dos emissores (L/h).

O coeficiente de fabricação do emissor (v) representa o desvio padrão da vazão da população de emissores em relação à vazão média, ou seja:

$$v = \frac{\sqrt{(q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + \dots + q_n^2 - n \cdot q_{\text{med}}^2) / (n - 1)}}{q_{\text{med}}} \quad (26)$$

onde

$q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ = são vazões individuais de cada emissor (L/h);

n = número de emissores da amostra;

q_{med} = vazão média dos emissores da amostra (L/h) = $(q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n) / n$.

A constante 1,27 na equação 25 corresponde à média do quarto inferior das vazões e tem significado prático de que 80% dos emissores satisfazem às condições de uniformidade assim definidas. Pode-se também elevar aquele fator ao valor 1,96, o que significa que 95% dos emissores satisfazem essas condições. De modo geral, recomenda-se ter um CUIL superior a 94% e que, em nenhum caso, CUIL seja inferior a 90%.

Vazão por Emissor ou por Grupo de Emissores

Duração de Irrigação (h)

O sistema mais econômico será aquele projetado com uma duração de aplicação tão longa quanto possível, mantendo vazões pouco elevadas em toda a rede. No entanto, existem várias limitações da duração máxima da irrigação. Por exemplo, em solo de textura muito grossa e com capacidade muito baixa de retenção de água, deve-se irrigar quando a planta necessita, aproximando-se ao máximo da curva de consumo, a fim de evitar perdas por percolação profunda. Na maioria das vezes, nesse tipo de solo, a irrigação deve ser efetuada diariamente ($TI = 1$ dia), em intervalo que vai das 9:00 até às 15:00 h ou mais, com uma duração total em torno de 6 horas.

Fora desse caso particular, a duração da aplicação dependerá do calendário de irrigação global adotado e do coeficiente de segurança da rede. Assim, tem-se que dispor de uma margem para prevenir uma subestimativa das necessidades das culturas, necessidades máximas anormais, interrupções e manutenção, incluindo uma pequena diminuição da vazão média dos emissores ao longo do tempo.

Para se levar em consideração esses fatores, é melhor alterar a duração da aplicação sem modificar a hidráulica do sistema. Como primeira aproximação, considera-se que a duração máxima de aplicação, baseada em proporcionar água às plantas no momento propício, permitindo um fator adequado de segurança, é de 6 a 8 horas por dia em solos de textura grossa e de 10 a 18 horas por dia, em solos com boa capacidade de retenção de água. No entanto, no

período máximo, a duração pode chegar a 20 ou 22 horas por dia. O projetista deve considerar a vazão do sistema, tendo em vista que a vazão e a duração de irrigação são inversamente proporcionais, sendo o seu produto igual às necessidades totais de irrigação.

Cálculo da Vazão do Emissor (Q_e)

Uma vez determinada a lâmina a ser aplicada por irrigação para uma frequência escolhida, assim como a duração de aplicação, deduz-se aritmeticamente a vazão por emissor ou grupo de emissores pela seguinte fórmula:

$$Q_e = \frac{LB \times A}{t} = \frac{LB \times EE \times ELL}{t} \quad (27)$$

onde

Q_e = vazão do emissor ou do grupo de emissores (litros/h);

LB = lâmina bruta de irrigação para toda a superfície e para o turno considerado (mm);

t = tempo em que cada emissor é operado, isto é, duração da irrigação (h);

A = área total irrigada por cada emissor (m^2);

EE, ELL = espaçamento dos emissores na tubulação lateral e entre laterais, respectivamente (m).

O número de emissores por planta deve ser determinado para obter um modelo apropriado de distribuição de água no solo. Em caso de não existirem dados reais (de teste ou experimentais), pode-se utilizar a Tabela 13.

Na escolha do local para a descarga do emissor, deve-se tomar cuidado de evitar pontos que possam causar qualquer acumulação ou percolação profunda.

Na prática, as vazões dos emissores variam entre aproximadamente 2 a 50 litros/h.

Uso das Planilhas para Dimensionamento e Manejo da Irrigação

A pasta de trabalho “Dimensionamento Emissores” está dividida em 3 planilhas: Dimensionamento, Dados_para_Manejo e Planilha_do_Manejo.

A convenção adotada foi a seguinte: células de cor amarela são as que necessitam de dados de entrada, os quais devem obrigatoriamente ser digitados pelo usuário; células de cor laranja são opcionais para entrada de dados e são consideradas em detrimento de um cálculo estimado, caso essas sejam preenchidas; células amarelas pontilhadas não necessitam ser preenchidas, caso alguma célula de cor laranja de cálculos vinculados a ela seja preenchida; células azuis e verdes não são preenchidas e servem para obtenção de algum parâmetro meio (azuis) ou de interesse imediato pelo usuário (verdes).

Planilha “Dimensionamento”

Antes que se descreva essa planilha, é necessário conceituar o que seja *coeficiente de cultura (Kc)* e *evapotranspiração de referência (ET_o) críticos*. Ambos são definidos como aqueles utilizados no projeto ou dimensionamento do sistema de irrigação. Esses valores são obtidos para uma condição de demanda máxima da cultura, isto é, na época em que a cultura é mais exigente em água e a demanda evaporativa (que está ligada ao clima) é também maior. Entretanto, ambas as situações podem ocorrer concomitantemente (Kc e ET_o

máximos na mesma época) ou não necessariamente. Uma análise mais apurada de valores críticos para projetos agrícolas leva em conta níveis de probabilidade de ocorrência; normalmente é considerado nesses casos um nível de 75% de probabilidade, ou seja, há um risco de 25% de chance (em séries anuais, o período de recorrência é de 4 anos) de que os valores adotados possam ser ultrapassados.

Com a planilha “Dimensionamento”, obtém-se basicamente a vazão do emissor ou de um grupo de emissores (Q_e). O dimensionamento hidráulico do sistema não é realizado com essa planilha.

O primeiro passo, que é opcional, é fazer a identificação do local, área, gleba etc. do plantio. Uma vez que se faça essa identificação, essa valerá para as outras duas planilhas também. A disposição da identificação tem a seguinte forma:

Identif.:	
------------------	--

Os dados de entrada necessários aos cálculos do dimensionamento estão divididos em Solo, Cultura e Emissores.

A parte “Solo” está assim disposta:

Solo	CC (%peso):	
	PMP (%peso):	
	ρ (g/cm ³):	
	f:	
	P _{max} (%):	

<< OPCIONAL

Há necessidade de entrar com os seguintes parâmetros de solo: capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), ambos na unidade %peso; densidade do solo (em g/cm^3) e coeficiente de disponibilidade (f). Há referências para esses parâmetros nas Tabelas 10 e 11. A porcentagem máxima do bulbo molhado (P), caso seja conhecida, é opcionalmente preenchida.

A parte “Cultura” se apresenta:

Cultura	Zmax (cm):	
	Kc projeto:	
	ETo proj. (mm/dia):	
	EP (m):	
	ELP (m):	
	Ac (m ²):	
	ou Ac (%):	
	Relação D/h:	
Método Kr:		

opcional >>

Veja FIGURA 1

A Figura 1, neste caso, é a que está apresentada na planilha.

Nessa parte, há necessidade de se entrar com o valor máximo da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (Zmax, em cm); do coeficiente de cultura do projeto (Kc crítico); da evapotranspiração de referência do projeto (ETo crítico, em mm/dia); o espaçamento entre plantas (EP, em m); o espaçamento entre linhas de plantio (ELP, em m); a área de sombreamento da copa (Ac, em m² ou, opcionalmente, em %); a relação diâmetro da copa e altura da planta (D/h, relação ilustrada na Figura 1 da própria planilha), sendo essa relação na forma 1:X (digitar apenas o valor de X, sendo que X varia de 1 até 6) e finalmente o método de cálculo do coeficiente de redução (Kr) da evapotranspiração da cultura, o qual possui os 4 métodos já descritos (equações 7, 8, 9 e 10)

66 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

adicionados da opção da média de todos eles (opção 5).

A parte relativa a “Emissores” é:

Emissores	EE (m):	
	ELL (m):	
	Tmax (h/dia):	
	Coef.Unif. (%):	

Há necessidade de entrar com o espaçamento entre emissores na linha lateral (EE, em m); o espaçamento entre linhas laterais (ELL, em m); o tempo máximo previsto para irrigar num dia, ou seja, turno diário de trabalho (em horas) e o coeficiente de uniformidade medido ou estimado do sistema (em %).

A parte da planilha relativa aos cálculos, e que portanto não são para entrada de dados, está assim disposta:

CÁLCULOS	
ATD:	
Textura	
1: Arenoso	2: Franco-arenoso
3: Franco-argiloso	4: Argiloso
f.c.:	
Cs (%):	
Kc:	
Volmax-1 (L):	
Dmax (m):	
Volbulbu (m3):	
Volsolo (m3):	
Pmax (%):	
Am-max (mm):	
ETc L (mm/dia):	
Tmax (dia):	
LL (mm):	
LB (mm):	

Veja FIGURA 1 ←

A Figura 1, neste caso, é a que está apresentada na planilha.

A água total disponível (ATD, em % volume) é calculada de acordo com os parâmetros fornecidos para o solo (CC, PMP e d).

A textura do solo é obtida de 4 opções (solo arenoso, franco-arenoso, franco-argiloso e argiloso), de acordo com a ATD obtida e que esteja na faixa de cada opção, ou seja: solo arenoso ($ATD \leq 5,0\%$ volume), solo franco-arenoso ($5,0 < ATD \leq 8,5\%$ volume), solo franco-argiloso ($8,5 < ATD \leq 12,5\%$ volume) e solo argiloso ($ATD > 12,5\%$ volume).

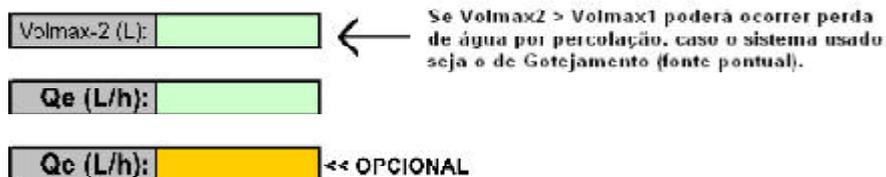
O fator de correção (f.c.) é obtido da Tabela 9 e serve para corrigir a porcentagem de cobertura (C_s , em %), conforme mostra a Figura 1 da planilha. O coeficiente de redução (K_r) é assim obtido conforme o método anteriormente selecionado. Com essas informações, é calculado o volume máximo teórico de água que pode ser adicionado ao solo (Vol_{max-1} , em L), em função dos parâmetros anteriores de entrada (Z_{max} e da textura do solo, de acordo com as curvas de estimativa apresentadas na Figura 11). Vale ressaltar que o Vol_{max-1} é mais real na condição de uma fonte pontual de aplicação de água, como é o caso da irrigação por gotejamento, diferentemente da irrigação por microaspersão. O diâmetro máximo teórico do bulbo molhado (D_{max} , em m) é obtido com uma das curvas apresentadas na Figura 10, de acordo com o Vol_{max-1} obtido anteriormente.

O volume do bulbo molhado (Vol_{bulbo} , em m^3) é considerado ser de formato cilíndrico, de acordo com o D_{max} e a profundidade Z_{max} ou de acordo com o P_{max} fornecido opcionalmente. O volume de solo (Vol_{solo} , em m^3) é o volume na área de ação dos emissores ($EE \times ELL \times Z_{max}$). A porcentagem de bulbo molhado máximo (P_{max} , em %) é obtido em função do Vol_{bulbo} e Vol_{solo} ou, opcionalmente, por um valor fornecido pelo usuário.

A lâmina líquida de armazenamento máximo da água no solo (Arm_{max} , em mm) é a água que pode ficar retida no solo na região em torno do sistema radicular, limitada ao coeficiente de disponibilidade (f) e ao bulbo molhado (P_{max}). A evapotranspiração da cultura de projeto prevista para o sistema localizado (ET_{c-L} , em mm/dia) é obtida do produto do ET_o , pelo K_c do projeto e pelo K_r calculado. O Tl_{max} (em dias) é turno de irrigação máximo, ou seja, para a condição crítica de ET_{c-L} .

Em função do $ETc-L$ e do Tl_{max} , obtidos anteriormente, é calculada a lâmina líquida de dimensionamento (LL , em mm). Ela pode ser calculada também de uma vazão de emissor (Q_e) previamente fornecida. A lâmina bruta (LB , em mm) é determinada pela relação entre a LL e a eficiência do sistema, conforme a equação 24. Também a LB pode ser estimada a partir de uma Q_e opcionalmente fornecida.

Os seguintes resultados são encontrados a partir dos cálculos anteriores:



O volume máximo de água a aplicar por irrigação ($Volmax-2$, em L) é obtido dos cálculos do Arm_{max} e da $ETc-L$. Esse valor deve ser preferencialmente menor que $Volmax-1$ na condição em que o sistema em uso seja o de gotejamento (fonte pontual). Caso $Volmax2 > Volmax1$, então o Tl_{max} poderá ser diminuído. A vazão do emissor ou de grupo de emissores recomendada (Q_e , em L/h) é resultado da razão entre o $Volmax-2$ e o turno de trabalho diário (T_{max} , em h/dia). Caso o Q_e já seja conhecido, esse pode ser digitado na célula cor laranja opcional.

70 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

Planilha "Dados_para_Manejo"

A parte superior é a identificação conforme foi preenchida na planilha "Dimensionamento".

Os dados de entrada necessários aos cálculos para o manejo da irrigação estão divididos em Cultura, Solo e Clima.

A parte referente à Cultura se apresenta assim:

CULTURA			
cultura:	inexiste		
Nº grupo da cultura		Número da cultura	
data do plantio:		duração do ciclo:	
S.Rad. Fixo:			<< opcional
Prof. sementeira (cm):			<< opcional

Há 4 grupos de culturas, cada um dos quais com 7 culturas cadastradas, exceto o grupo 4, que possui apenas 3 culturas. Com a combinação do número do grupo com o número da cultura pertencente a esse grupo, seleciona-se uma cultura desejada. Por exemplo, a cultura do milho é o número 5 do grupo 1. Também nessa parte entra-se com a data do plantio (dia, mês e ano) e a duração do ciclo (em dias). Se o sistema radicular for fixo (ou seja, sem haver mais crescimento), marca-se com um "X" a célula opcional correspondente. Se a profundidade de sementeira for

diferente de 6 cm (exceto para o sorgo “soca” e a cultura permanente), digitar o novo valor na célula opcional de cor laranja.

A parte referente ao Solo é a seguinte:

SOLO			
Cond. do solo:	1	2	3
	Solo Seco	Semi-Úmido	Solo Úmido
U _i :			<< opcional
f:	fase 1:		
	fase 2:		
	fase 3:		
	fase 4:		

A condição da umidade inicial do solo é escolhida segundo 3 classes (solo seco – no ponto de murcha permanente; solo semi-úmido – com 50% da água total disponível; e solo úmido – na capacidade de campo). Caso preferencialmente se saiba essa umidade inicial (U_i, em %peso), deve-se digitar o seu valor na célula opcional correspondente, a qual deve ser considerada como a média da umidade na profundidade efetiva do sistema radicular (Z_{max}), no dia do plantio, antes da irrigação. O coeficiente de disponibilidade (f) pode ser observado na Tabela 11 para a cultura desejada, mas pode ainda variar de acordo com 4 fases distintas do seu ciclo fenológico.

72 | Requerimento de água das culturas para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada

A parte do Clima é mostrada assim:

CLIMA				
Dem. Evap.	1	2	3	4
.....	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
TI da Fase 1:				
Kc (1):		<<< opcional		
Kc (3):		<<< opcional		
Kc (5):		<<< opcional		
Kp:				
Kc (1):		Kc (3):		Kc (5):
	decliv1:		decliv2:	1,00

A demanda evaporativa está dividida em 4 classes, podendo ser definida por meio da evapotranspiração de referência (ET_o) média observada no período da seguinte forma: classe 1 (baixa) – ET_o < 2,5 mm/dia; classe 2 (moderada) – 2,5 < ET_o < 5,0 mm/dia; classe 3 (alta) – 5,0 < ET_o < 7,5 mm/dia; e classe 4 (muito alta) – ET_o > 7,5 mm/dia. O turno de irrigação médio (TI, em dias) na fase 1 do ciclo da cultura é também digitado. Ambos os parâmetros (demanda evaporativa e TI da fase 1) são necessários para a estimativa automática dos valores dos coeficientes de cultura nas fases 1, 3 e 5 (Kc₁, Kc₃ e Kc₅, respectivamente) do ciclo da cultura. Caso seja conhecido qualquer um desses valores de Kc, esse(s) pode(m) ser digitado(s) na(s) célula(s) opcional(is) correspondente(s). Qualquer valor de Kc digitado opcionalmente é preferencial em relação ao estimado via demanda evaporativa ou TI da fase 1 selecionados. Se

a estimativa da ETo for realizada pelo tanque Classe A, o coeficiente de tanque escolhido (K_p , Tabela 1) deverá ser digitado na célula; caso o método de determinação da ETo seja qualquer outro, coloque o valor 1 (um) na célula. As declividades das retas do Kc na fase 2 (decliv1) e na fase 4 (decliv2) são calculados automaticamente de acordo com as escolhas dos valores de Kc nas fases 1, 3 e 5.

Planilha “Planilha_do_Manejo”

Da mesma forma que a planilha “Dados_para_manejo”, a parte superior é a identificação que é proveniente da planilha “Dimensionamento”.

Há um relatório apresentado, conforme a apresentação:

RELATÓRIO									
Lâmina (mm)		Chuva (mm)		Irrigação efetuada (mm)			deficit	L. residual (mm):	
Req.	Util.	Total	Efetiva	atua.	LB	LL	(%)	desejada	real

À medida em que se for preenchendo a parte de baixo dessa planilha com dados de ETo, chuva e tempo de irrigação, os valores apresentados em cada célula verde desse relatório vão se alterando.

A lâmina requerida (em mm) é a evapotranspiração máxima da cultura (ETc) ocorrida durante todo o ciclo, ou seja, é o somatório da ETc diária durante o ciclo da cultura. A lâmina utilizada (em mm) é a soma de todas as lâminas líquidas de irrigação e das chuvas efetivas, incluindo-se também a variação no armazenamento da água no solo (umidade inicial – umidade final).

A chuva total (em mm) é a soma das precipitações ocorridas durante o ciclo da cultura e a chuva efetiva (em mm) é a soma daquelas que realmente supriram a cultura com água, ou seja,

contribuíram para o seu desenvolvimento. A diferença entre a chuva total e a efetiva é a lâmina de água perdida principalmente por percolação, desconsiderando-se o escoamento superficial.

A quantidade de irrigação efetuada é o número de irrigações realizadas até a última entrada de dados de ET_o . A lâmina bruta de irrigação (em mm) leva em conta a eficiência de irrigação e a lâmina suplementar de 10%, conforme a equação 24. A lâmina líquida (em mm) é aquela que contribuiu efetivamente para a necessidade da cultura.

O déficit (em %) se refere à diferença entre a evapotranspiração máxima (ET_c) e a real (ET_r) em relação à máxima, ou seja, $[(ET_c - ET_r) / ET_c] \times 100$. Isto, teoricamente, é o mesmo que a relação entre a água utilizada e a requerida.

A lâmina residual (em mm) é a lâmina de água que fica no solo no dia atual de entrada de dados de ET_o (Relatório Parcial) ou no dia da maturação (Relatório Final). Essa lâmina residual desejável (em mm) é a lâmina de água que deverá restar no solo no dia da maturação (Relatório Final) que está aquém da Água Facilmente Disponível (AFD) até o Ponto de Murcha Permanente (PMP). A lâmina residual real é aquela que efetivamente ficou no solo no dia atual (Relatório Parcial) ou no da maturação fisiológica (Relatório Final).

A parte relativa ao manejo da irrigação em si está assim disposta das colunas A a J:

Data	dia da semana	DAS	ECA ou ETo	Chuva	Recomendação de irrigar	Lâm. Líquida de irrigação	Lâmina Bruta de irrigação	Volume de água recomendado por emissor ou grupo	Tempo de irrigação recomendado (horas)

Aqui se apresentam as datas, os dias da semana, os dias após a semeadura (DAS). Como entrada de dados estão: a evaporação da água do tanque Classe A (ECA, em mm/dia) ou a própria evapotranspiração de referência (ETo, em mm/dia) e a chuva diária (mm). Há diariamente apresentadas: recomendação de irrigar (sim ou não), a lâmina líquida de irrigação (em mm), a lâmina bruta de irrigação (em mm), o volume de água recomendado por emissor ou grupo de emissores (em litros) e o respectivo tempo de irrigação recomendado (em horas).

Em continuação, as colunas K a T são:

Tempo de irrigação recomendado (h:min)	Tempo de irrigação aplicado (horas)	tempo de irrigação aplicado (h:min)	Kc	Chuva Efetiva	Z	R.A.S.D.A. (%)	Fase

Há nessa parte ainda o tempo de irrigação recomendado, mas no formato hora:minuto. Como entrada de dados, há o tempo de irrigação aplicado (em horas), o qual é escolhido em função do

tempo recomendado (colunas anteriores). Escolhido o valor do tempo, forma-se esse mesmo tempo na coluna posterior, mas no formato hora:minuto. Há ainda as colunas relativas aos valores de K_c , da chuva efetiva (em mm), da profundidade do sistema radicular (Z , em mm), da reserva de água do solo do dia anterior (R.A.S.D.A., em %) na região em torno do sistema radicular e, finalmente, a fase (de 1 a 4) em que a cultura se encontra.

Agradecimentos

Os autores agradecem: ao pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo *Camilo de Leis Teixeira de Andrade*, ao pesquisador da Epamig – CTNM (Nova Porteirinha) *Édio Luiz da Costa* pelas sugestões feitas e pelo auxílio na obtenção de alguns dados e também ao estudante da UFMG/ICA (Montes Claros) *Gustavo Vitorino Souza* pelas informações obtidas de sua dissertação do curso de mestrado.

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 Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu.

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. F.; OR, D. Applicability of analytical solutions for flow from point sources to drip irrigation management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p. 1331-1341, 1996.

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).

GRATTAN, S. R.; SNYDER, R. L.; ROBINSON, F. E. Yield threshold soil water depletion. In: GOLDHAMER, D. A.; SNYDER, R. L. (Ed.) **Irrigation scheduling: a guide for efficient on-farm water management**. Oakland: University of California, 1989. p. 32-33.

IRRIGAÇÃO. Joinville: Indústrias Schneider, [1998?]. 96 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, 1974.

MEAD, R. **Root intrusion prevention**. Disponível em: <http://www.microirrigationforum.com/new/archives/rootpre.html>. Acesso em: 17 set. 2007.

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.

NOGUEIRA, C. C. P.; COELHO, E. F.; LEÃO, M. C. S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 315-320, 2000.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

RESENDE, R. S. **Intrusão radicular e efeito de vácuo em gotejamento enterrado na irrigação de cana-de-açúcar**. 2003. 124 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOARES, J. M., COSTA, F. F. Irrigação na cultura da videira. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 19, n. 194, p. 58-59, 1998.

SOUZA, G. V. **Irrigação e drenagem**: Irrigação localizada subsuperficial. 2007. 11 f. Monografia (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros.

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 Jr.; J. F. de Medeiros.