



Sete Lagoas, MG
Dezembro, 2002

Autores

Lairson Couto
PhD. Irrigação e Drenagem
Agência Nacional de
Águas-ANA
Setor Policial, Área 5,
Quadra 3, Bl. B - 2º andar
70610-200 Brasília, DF

Luiz Marcelo Aguiar Sans
D.Sc. Agrometeorologia
Pesquisador da Embrapa
Milho e Sorgo. Caixa
Postal 151. 35701-970
Sete Lagoas, MG. E-mail:
lsans@cnpmis.embrapa.br



Requerimento de Água das Culturas

Introdução

A produção de uma cultura está relacionada, em primeiro lugar, com a genética da planta, que pode ser responsabilizada por aproximadamente 60% da expressão da produtividade, enquanto os 40% restantes podem ser atribuídos ao ambiente (clima, solo, água, etc.). As práticas de manejo cultural podem influenciar direta ou indiretamente os fatores ambientais; entretanto, os fatores climáticos independem da ação direta do homem e o seu controle pode ser muito difícil ou oneroso.

No entanto, o conhecimento desses fatores e de seus efeitos na agricultura tem sido uma preocupação constante dos técnicos e pesquisadores. Os estudos de ecofisiologia, zoneamentos agroclimáticos, previsão de tempo e mudanças globais no clima podem contribuir para reduzir os riscos e os efeitos do clima na produção agrícola. Atualmente, os recursos de satélites, o desenvolvimento tecnológico e as facilidades nas áreas de informação e informática vêm possibilitando previsões mais realísticas e de melhor precisão no tempo e espaço.

A irrigação, em todas as suas etapas, depende fundamentalmente do conhecimento dos fatores climáticos e meteorológicos, a começar pelo planejamento, dimensionamento dos sistemas de irrigação e do manejo da água nos sistemas de produção agrícola. Os requerimentos de água das culturas variam com os fatores climáticos e são, na maioria das vezes, estimados através da evapotranspiração.

A evapotranspiração de uma planta ou de uma cultura leva em conta a transpiração dessa planta e a evaporação da superfície do solo.

Transpiração

A transpiração consiste na vaporização de água líquida contida nos tecidos da planta e da remoção do vapor para a atmosfera. As culturas perdem predominantemente sua água através dos estômatos. Estes são pequenas aberturas na folha, através das quais os gases e o vapor de água passam (Figura 1). A água, juntamente com alguns nutrientes, é absorvida pelas raízes e transportada através da planta. A vaporização ocorre no interior da folha, nominalmente nos espaços intercelulares, e a troca de vapor com a atmosfera é controlada pela abertura estomatal. Praticamente, toda água absorvida é perdida pela transpiração e somente uma pequena fração é usada no interior da planta.

Evaporação

Evaporação é o processo pelo qual a água líquida é convertida em vapor de água (vaporização) e removida da superfície evaporante (remoção de vapor). A água evapora de diversas superfícies, como

lagos, rios, pavimentos, solos e vegetação úmida. Energia é requerida para mudar o estado das moléculas de água de líquido para vapor. Radiação solar direta e, com menor intensidade, a temperatura do ar suprem essa energia. A força motriz para remover vapor de água da superfície evaporante é a diferença entre a pressão de vapor da superfície evaporante e daquela da atmosfera ao redor. À medida que a evaporação prossegue, o ar ao redor torna-se gradualmente saturado, o processo irá diminuir e pode parar se o ar umedecido não for transferido para a atmosfera. A reposição do ar saturado por ar mais seco depende muito da velocidade do vento. Portanto, radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade de vento são parâmetros climatológicos a serem considerados quando se discute o processo de evaporação.

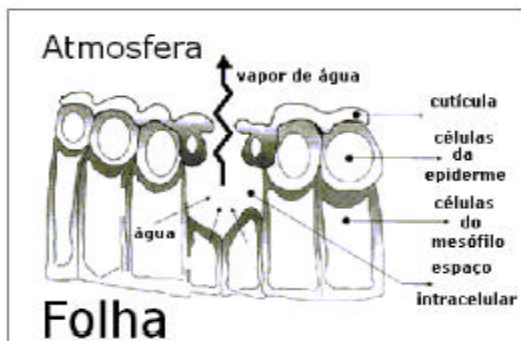


Figura 1. Representação esquemática do estômato.
Fonte: Allen et al. (1998)

Se a superfície evaporante é a do solo, o grau de sombreamento do dossel da cultura e a quantidade de água disponível na superfície evaporante são os outros fatores que afetam o processo de evaporação. Chuvas frequentes, irrigação e água transportada de baixo para cima a partir do lençol freático umedecem a superfície do solo. Se o solo for capaz de suprir água rapidamente o bastante para satisfazer a demanda evaporativa, a evaporação do solo é determinada somente pelas condições meteorológicas. Entretanto,

quando o intervalo entre chuvas e irrigação torna-se grande e a habilidade do solo para conduzir umidade das camadas inferiores para a superfície é pequena, o conteúdo de água na camada superior do solo cai e sua superfície seca. Nessas circunstâncias, a limitada disponibilidade de água exerce uma influência no controle da evaporação do solo. Na ausência de qualquer suprimento de água para a superfície do solo, a evaporação decresce rapidamente e pode cessar quase que completamente dentro de poucos dias.

Evapotranspiração - ET

Evaporação e transpiração ocorrem simultaneamente e não existe uma maneira fácil de distinguir entre os dois processos. Fora a disponibilidade de água na sua parte superior, a evaporação de um solo cultivado é determinada principalmente pela fração da radiação solar que alcança sua superfície. Essa fração decresce ao longo do período de crescimento, à medida que a cultura se desenvolve e o dossel da cultura sombreia mais e mais a superfície do solo. Quando a cultura está pequena, a água é perdida predominantemente pela evaporação do solo, mas, uma vez que a cultura está bem desenvolvida e cobre completamente o solo, a transpiração se torna o processo principal. A partição da evapotranspiração em evaporação e transpiração é função da área foliar por superfície unitária de solo abaixo dela. Na semeadura, praticamente 100% de ET vêm da evaporação, enquanto, em plena cobertura pela cultura, mais de 90% de ET vêm da transpiração.

A medição dos valores da evapotranspiração da cultura no campo geralmente é feita utilizando-se lisímetros, mas trata-se de um processo trabalhoso e caro. Essa medição direta em campo geralmente é usada apenas em trabalhos de pesquisa. Por isso, na prática, para fins de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, calcula-se a evapotranspiração da cultura através da estimativa da evapotranspiração da cultura de

referência (E_{To}) e dos coeficientes culturais (K_c).

Quase todos os métodos disponíveis para se determinar a evapotranspiração das culturas são baseados em equações empíricas ou semi-empíricas, que utilizam os parâmetros meteorológicos. Essas equações utilizam principalmente os valores de temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa ou pressão de vapor do ar e vento. Algumas são bem simples, utilizam apenas alguns parâmetros, como a temperatura, e foram desenvolvidas para condições específicas de clima, enquanto outras são bem mais complexas, de maior amplitude de aplicabilidade, e utilizam um grande número de variáveis.

Dentre os principais parâmetros meteorológicos utilizados nos cálculos das necessidades hídricas das culturas, podem-se destacar: temperatura do ar, umidade relativa, pressão de vapor, velocidade do vento, radiação solar e outros parâmetros indiretos, como altitude, latitude e horas de brilho solar. A maioria desses parâmetros é normalmente medida através da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e de outras instituições. Em alguns projetos, estações meteorológicas automáticas ou semi-automáticas coletam essas informações. Os métodos para estimar a evapotranspiração a partir de dados meteorológicos requerem vários parâmetros climatológicos e físicos. Alguns dos dados são medidos diretamente nas estações meteorológicas. Outros parâmetros são relacionados com outros dados comumente medidos e podem ser derivados com a ajuda de relações diretas ou empíricas.

Fatores Meteorológicos Determinantes da Evapotranspiração

Os fatores meteorológicos que determinam a evapotranspiração são parâmetros de clima, os quais fornecem energia para vaporização e remoção do vapor d'água da superfície

evaporativa. Os principais parâmetros de clima a considerar estão apresentados abaixo:

Radiação solar

O processo de evapotranspiração é determinado pela quantidade de energia disponível para vaporizar a água. A radiação solar é a maior fonte de energia e é capaz de mudar grandes quantidades de água líquida em vapor d'água. A quantidade potencial de energia que pode alcançar a superfície evaporante (evaporativa) é determinada pela sua localização e época do ano. Devido a diferenças na posição do sol, a radiação potencial difere nas várias latitudes e nas diferentes estações do ano. A radiação solar atual (real), alcançando uma superfície evaporante, depende da turbidez da atmosfera e da presença de nuvens que refletem e absorvem a maior parte da radiação. Quando se estudam os efeitos da radiação solar na evapotranspiração, deve-se ter também em mente que nem toda a energia disponível é usada para vaporizar a água. Parte da energia solar é usada para aquecer a atmosfera e o perfil do solo.

A radiação líquida média diária expressa em megajoules por metro quadrado por dia ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$) é a requerida. Esses dados não são comumente disponíveis, mas podem ser derivados da radiação curta média, medida com um piranômetro, ou da duração média diária do brilho solar (insolação em horas por dia), medida com o heliógrafo (Campbell – Stokes).

Temperatura do ar

A radiação solar absorvida pela atmosfera e o calor emitido pela terra aumentam a temperatura do ar. O calor sensível do ar adjacente transfere energia para a cultura e exerce uma influência controladora na taxa de evapotranspiração. Em dias ensolarados e quentes, a perda de água pela evapotranspiração é maior que em dias nublados e frios. A temperatura máxima média diária do ar e a temperatura mínima

média em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) são requeridas. Onde somente temperaturas médias diárias são disponíveis, os cálculos ainda podem ser executados, mas alguma subestimativa de ET_0 provavelmente ocorrerá, devido à não-linearidade da relação pressão de vapor saturada-temperatura. Usando-se temperatura média do ar em vez de temperatura máxima e mínima do ar, resulta uma menor pressão de valor saturado (e_s) e, portanto, uma menor diferença de pressão de vapor ($e_s - e_a$), com a conseqüente menor estimativa da evapotranspiração de referência.

Umidade do ar

Enquanto o suprimento de energia do sol e do ar adjacente é a força motriz principal para a vaporização da água, a diferença entre a pressão de vapor da água na superfície evapotranspirante e o ar adjacente é o fator determinante para a remoção do vapor. Campos bem molhados em regiões áridas, quentes e secas consomem grandes quantidades de água, devido à abundância de energia e poder dessecante da atmosfera. Em regiões tropicais úmidas, não obstante a entrada de elevada energia, a umidade elevada do ar reduzirá a demanda da evapotranspiração. Num ambiente como este, o ar já está muito próximo da saturação, tal que menos água adicional pode ser armazenada e, portanto, a taxa de evapotranspiração é mais baixa que em regiões áridas. Portanto, a pressão de vapor atual média (e_a), em kilopascal (kPa), é requerida. A pressão de vapor atual, onde não disponível, pode ser derivada da umidade relativa máxima e mínima (%), ou através de dados psicrométricos (temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido, em $^{\circ}\text{C}$) ou da temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

Velocidade do vento

O processo de remoção do vapor depende largamente do vento e da turbulência do ar, que transfere grandes quantidades de ar acima da superfície evaporante. Ao vaporizar

a água, o ar acima da superfície evaporante torna-se gradualmente saturado com vapor d'água. Se esse ar não for continuamente substituído por ar seco, a força motriz para remover o vapor d'água e a taxa de evapotranspiração decresce. O efeito combinado desses fatores climáticos afeta consideravelmente a evapotranspiração. A demanda da evapotranspiração é alta em clima quente e seco, devido à secura do ar e à quantidade de energia disponível como radiação solar direta e calor latente. Sob essas circunstâncias, muito vapor d'água pode ser armazenado no ar, enquanto o vento pode promover o transporte da água, permitindo que mais vapor d'água seja admitido. A velocidade média diária do vento, em metros por segundo (ms^{-1}), medida a dois metros acima do nível do chão, é requerida. É importante verificar a altura na qual a velocidade do vento é medida, uma vez que as velocidades do vento medidas a diferentes alturas diferem. Existem equações para ajustar a velocidade de vento para a altura padrão de dois metros.

Dados climáticos perdidos (faltantes)

Podem ocorrer situações em que faltem algumas variáveis de clima (perdidas). O uso de um procedimento de cálculo alternativo de ET, que requer somente parâmetros meteorológicos limitados, deve, em geral, ser evitado. É recomendado que se utilize um cálculo de ET_0 com o método padrão da FAO/Penman-Monteith, depois de resolvido o problema específico dos dados faltantes. Esperam-se diferenças entre valores de ET_0 obtidos com a equação da FAO/Penman-Monteith, por um lado, e um conjunto limitado de dados e, por outro lado, um conjunto de dados pleno, menores ou de similar magnitude do que diferenças resultantes do uso de uma equação alternativa para ET_0 .

Mesmo onde o conjunto de dados contenha apenas a temperatura máxima e mínima do ar, é possível obter estimativas razoáveis de

ET_o para períodos de dez dias ou mensal, com a equação de Penman–Monteith. Como já relatado, dados de radiação podem ser derivados de diferenças de temperatura do ar ou, juntamente com dados de velocidade de vento e umidade, podem ser importados de uma estação próxima. Após avaliar a validade do uso de dados de uma outra estação, estimativas de ET_o para períodos de dez dias ou mensal podem ser calculadas.

Os procedimentos para estimar dados faltantes devem ser validados em condições regionais. Isto pode ser feito para estações de clima com conjunto completo de dados, ao comparar a ET_o calculada com esse conjunto de dados com o conjunto limitado. A taxa deve ser próxima de um. Se a taxa desvia-se significativamente de um, ela pode ser usada como um fator de correção de estimativas feitas para conjunto limitado de dados. Se o erro padrão da estimativa exceder 20% da ET_o média, uma análise de sensibilidade deveria ser realizada, para determinar causas (e limites) para o método utilizado importar dados faltantes. A validação deveria ser completada para cada mês e variável, para os valores mensais, bem como para as estimativas diárias.

Evapotranspiração da Cultura de Referência, ET_o

Como tem sido comentado, devido às dificuldades de se obter, com precisão, medições de evapotranspiração no campo, geralmente ela é calculada a partir de dados de clima. Um grande número de equações empíricas e semi-empíricas tem sido desenvolvido para se determinar a evapotranspiração da cultura ou de referência da cultura através de dados meteorológicos. Alguns desses métodos são válidos somente sob certas condições climáticas e agrônômicas específicas e não podem ser aplicadas sob condições diferentes daquelas para as quais foram originalmente desenvolvidas.

Inúmeros pesquisadores têm analisado a performance dos vários métodos de cálculo para diferentes localidades. Como resultado de uma consultoria prestada à FAO por especialistas, em maio de 1990, e, mais recentemente, em 1998, o método de Penman–Monteith, da FAO, é agora recomendado como o método padrão para a definição e a computação da evapotranspiração da cultura de referência, ET_o. A evapotranspiração das superfícies de culturas sob condição padrão é determinada pelo coeficiente cultural (K_c), que relaciona ET_c e ET_o. A evapotranspiração de superfícies de culturas sob condição não padrão é ajustada pelo coeficiente de estresse (K_s) e/ou por um coeficiente modificador da cultura.

Na definição da evapotranspiração da cultura de referência, pelo método de Penman–Monteith/FAO, considerou-se hipoteticamente uma cultura de 0,12 m de altura, tendo uma resistência na superfície de 70 s.m⁻¹ e um albedo de 0,23. Essa cultura hipotética tem características muito próximas de uma superfície de grama verde, altura uniforme, crescendo ativamente e bem umedecida.

A resistência de uma superfície fixada em 70 s.m⁻¹ implica uma superfície de solo moderadamente seco, resultante de uma frequência de irrigação de aproximadamente uma semana. O método de Penman–Monteith, da FAO, requer dados de radiação, temperatura do ar, umidade do ar e de velocidade do vento.

Métodos para Estimar a Evapotranspiração da Cultura de Referência, ET_o

Existem diversos métodos na literatura para se estimar a evapotranspiração de referência utilizando-se parâmetros climatológicos. Dentre eles, podem-se citar Penman, Penman modificado, Blaney-Criddle, Hargreaves, Makink, Penman-Monteith e muitos outros. Esses métodos foram desenvolvidos nas mais

diversas condições climáticas e de manejo de culturas. Portanto, ao selecionar o método de estimativa da evapotranspiração da cultura de referência, deve-se levar em conta as condições climáticas e de manejo cultural do local onde serão utilizados. Outra metodologia utilizada para se estimar a evapotranspiração de referência é através da utilização da evaporação do tanque classe A. Essa metodologia geralmente é utilizada quando não se dispõe dos parâmetros climatológicos requeridos nos demais métodos. Trata-se de uma metodologia simples e que se correlaciona bem com as demais. Os valores de ETo podem ser calculados para diversos intervalos de tempo; no caso de manejo de irrigação, é comum utilizar o intervalo de tempo de um dia. Portanto, geralmente ETo é expresso em mm/dia.

Método de Penman–Monteith, FAO

Atualmente, o método mais recomendado para a estimativa da evapotranspiração da cultura de referência, ETo, é o de Penman–Monteith/FAO, conforme a equação abaixo:

$$ET_0 = \frac{0.408A(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{A + \gamma (1 + 0.34U_2)}$$

Em que:

- Eto - Evapotranspiração da cultura de referência [mm dia⁻¹]
- R_n - Radiação líquida na superfície da cultura [MJ m⁻²dia⁻¹]
- G - Densidade do fluxo de calor no solo [MJ m⁻²dia⁻¹]
- T - Temperatura média diária do ar a dois metros de altura [°C]
- U₂ - Velocidade do vento a dois metros de altura
- e_s - Pressão de vapor em condições de saturação [kPa]
- e_a - Pressão de vapor atual do ar [kPa]
- e_s - e_a - Déficit de pressão de vapor [kPa]

- Declividade da curva de pressão de vapor [kPa]
- Constante psicrométrica [kPa °C⁻¹]

Método da Evaporação da Água do Tanque 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. É montado sobre um estrado de madeira com 15 cm de altura (Figura 2). Deve ficar nivelado com a lâmina de água, no máximo, a 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.

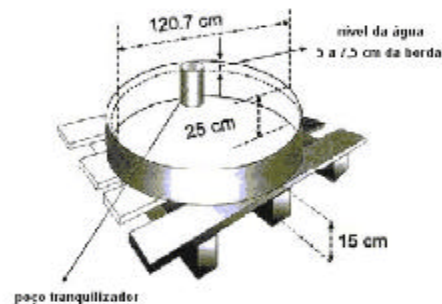


Figura 2. Esquema representativo do tanque de evaporação Classe A.

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 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 a 8%,

enquanto que superfícies vegetadas têm esse valor entre 20 e 25%. O armazenamento de calor no tanque pode ser apreciável e causar evaporação tanto de dia quanto de noite, ao passo 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, temperatura e 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 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 dez 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:

$$E_{To} = K_p \times ECA$$

Em que:

E_{To} - evapotranspiração de referência [mm/dia]

K_p - coeficiente do tanque [adimensional, $0,35 < K_p < 0,85$ – Tabela 1]

ECA - 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 mostrado na Figura 3.

A faixa de umidade relativa (UR) referida na Tabela 1 é a UR média ou $(UR_{m\acute{a}x} + UR_{m\acute{i}n})/2$. 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 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 áridos e semi-áridos. 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 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 necessário se a condição for de clima úmido e frio. 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 30%, 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 aplicam-se ainda para tanques galvanizados pintados anualmente de alumínio. Uma pequena diferença nos valores pode ocorrer caso seja pintado externa e internamente de branco e um acréscimo de até 10% pode haver caso 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

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).

		<i>Caso A: tanqua exposta em local coberto com vegetação verde</i>			<i>Caso B: tanqua exposta em local de solo nu</i>		
UR* média [%]		Baixa < 40	Média 40-70	Alta > 70	Baixa < 40	Média 40-70	Alta > 70
Vento (km/dia)	Borda dura (R) m				Borda dura (R) m		
Leve (< 175 < 2 m/s)	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65
Moderado (175-425 2-5 m/s)	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60
	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60
Forte (425-700 5-8 m/s)	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55
	1	0,45	0,50	0,60	1	0,80	0,85
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55
Muito Forte (> 700 > 8 m/s)	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45
	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40

* umidade relativa (UR);

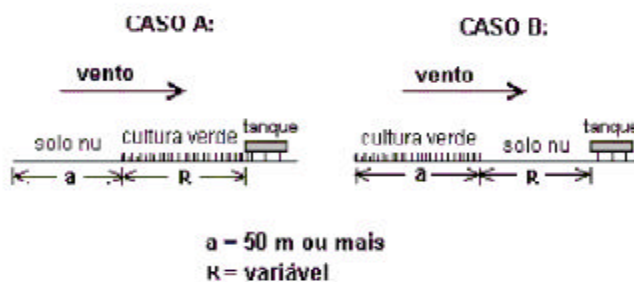


Figura 3. Casos A (bordadura com vegetação verde) e B (bordadura de solo nu), conforme a Tabela 1, para observação do raio de bordadura (R) do tanque Classe A, em função da direção do vento dominante.

preferir o tanque mais cheio. Quando for necessário, esse segundo tanque pode ser usado também para reabastecer o tanque principal, haja vista 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, deterioração e repintura do tanque.

Coefficiente Cultural, K_c

O coeficiente cultural depende principalmente da espécie e do estágio de crescimento da planta. O valor do coeficiente cultural é baixo (se o solo for mantido mais seco na superfície) no estágio inicial da cultura e pode alcançar valores acima de 1,25, por exemplo, na cultura do milho, no estágio de plena cobertura do solo pela cultura (se a demanda evaporativa for elevada). Para se estabelecer os valores de K_c , o ciclo da cultura pode ser dividido em quatro estádios de desenvolvimento, conforme metodologia apresentada em Doorenbos e Pruitt (1977) e Allen et al. (1998), para culturas anuais:

- **Estádio inicial**
Esse estágio vai da germinação ao crescimento inicial, quando a cobertura do solo atinge cerca de 10%.
- **Estádio de desenvolvimento**
Vai do final do estágio inicial até a cultura atingir efetiva cobertura do solo (cerca de 70 a 80%)
- **Estádio de meia-estação ou reprodutivo (florescimento)**
Inicia-se quando a cultura atinge plena cobertura até a maturação, como no caso de feijão, indicado pela descoloração das folhas, ou em algodão, quando as folhas começam a cair. Para algumas culturas, esse estágio pode estender-se até próximo à colheita.

- **Estádio final**

Vai do final do estágio anterior até a plena maturação e colheita.

Os valores do coeficiente cultural, de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, para as diferentes espécies, foram determinados experimentalmente para diversas condições de clima e manejo e podem ser encontrados na literatura, em forma de tabelas ou curvas. A Figura 4 mostra a evolução mais comum do K_c ao longo do ciclo de culturas anuais.

Evapotranspiração da Cultura, ET_c

A evapotranspiração de uma cultura dependerá principalmente dos fatores climáticos, da espécie, do estágio de desenvolvimento da planta e do manejo. Para se determinarem as lâminas de água para fins de manejo de irrigação, a evapotranspiração da cultura (ET_c) pode ser calculada utilizando-se a seguinte relação:

$$ET_c = K_c ET_o$$

Os valores de ET_o e ET_c são geralmente expressos em mm/dia.

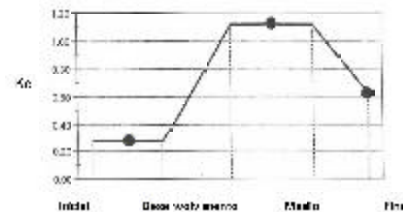


Figura 4. Evolução do coeficiente de cultura (K_c), segundo o manual FAO-24 (Doorenbos e Pruitt, 1977) e FAO-56 (Allen et al., 1998), para cada fase do ciclo de crescimento de culturas anuais.

Efeito do Déficit Hídrico na Produção

A quantidade de água consumida pela cultura do milho durante o seu ciclo gira em torno de 600 mm. O efeito de estresse hídrico associado à produção é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta: iniciação floral, e desenvolvimento da inflorescência; período

de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; enchimento de grãos. No estágio de iniciação floral, o número potencial de grãos por espiga é determinado, sendo um dos componentes do rendimento. No período de fertilização, o déficit de água pode causar a desidratação do grão de pólen e prejudicar o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico. Na fase de enchimento de grãos, ocorre translocação de carboidratos das folhas para esses grãos. O déficit hídrico afeta a divisão celular e o crescimento celular, causando redução, portanto, da área foliar e da capacidade da planta de realizar fotossíntese. Portanto, o efeito do déficit de água na produção de grãos se dá afetando vários mecanismos e processo fisiológicos. Se ocorrer estresse hídrico no florescimento, o rendimento pode ter decréscimo de até 80 %. Um estresse de água de quatro a oito dias, nessa fase, pode reduzir o rendimento em até 50%.

Literatura Citada

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

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

Circular Técnica, 21

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Caixa Postal 151

35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3779-1000

Fax: (31) 3779-1088

E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
FISICÓLOGIA E GERENCIAMENTO

1ª edição

1ª impressão (2002): 500 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Ivan Cruz

Secretário-Executivo: Frederico Ozanan M. Durães

Membros: Antônio Carlos de Oliveira, Arnaldo Ferreira da Silva, Carlos Roberto Casela, Fernando Tavares Fernandes e Paulo Afonso Viana

Expediente

Supervisor editorial: José Heltor Vasconcelos

Revisão de texto: Dilermando Lúcio de Oliveira

Tratamento das ilustrações: Tânia Mara A. Barbosa

Editoração eletrônica: Tânia Mara A. Barbosa