

*Petrolina, PE  
junho, 2006*

### Autores

**José Monteiro Soares**  
Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Dr.,  
Especialista em  
Irrigação. Embrapa  
Semi-Árido.

E-mail:

monteiro@cpatsa.embrapa.br

**Francisco Fernandes  
da Costa**

Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.Sc.,  
Especialista em  
Irrigação. Projetar.

E-mail:

projetari@uol.com.br

**Tarcizio Nascimento**

Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.Sc.,  
Especialista em  
Irrigação.

Embrapa Semi-Árido.

E-mail:

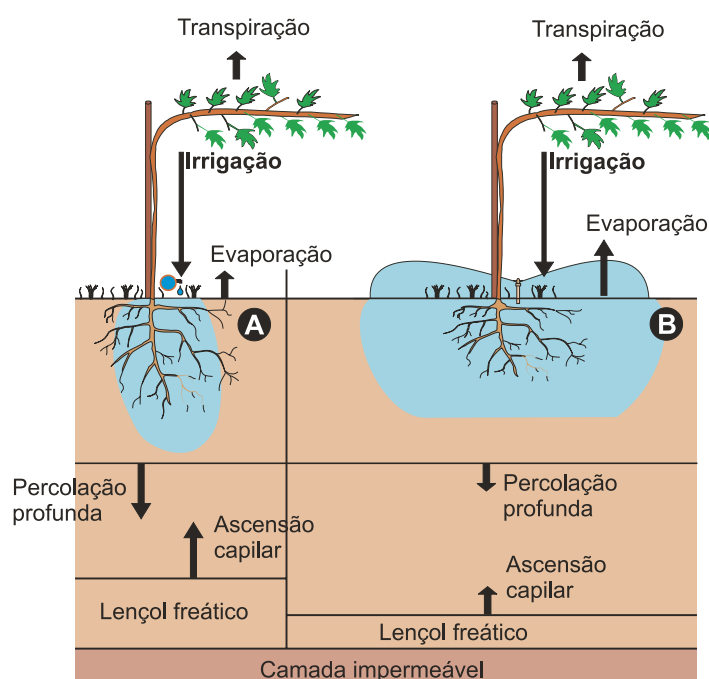
tarcizio@cpatsa.embrapa.br

## Recomendações básicas para o manejo de água em fruteiras

### Introdução

A água destaca-se como um dos principais componentes da constituição de uma planta, que, dependendo da espécie, pode representar até 99% da sua composição. Mas este elevado conteúdo de água das plantas corresponde a apenas 1% da água que a planta absorve do solo e transfere para a atmosfera por meio do processo de transpiração. Geralmente, nas regiões tropicais e subtropicais, a demanda hídrica das culturas, que é representada pelos processos de transpiração e de evaporação, é suprida pela ocorrência de precipitação pluvial. Mas, quando esta é insuficiente para atender à demanda das culturas, faz-se uso das mais diversas tecnologias de irrigação, tais como irrigação por sulcos, aspersão, gotejamento, microaspersão, entre outros, para aplicação de água ao solo. No entanto, o uso desta tecnologia deve levar em consideração que a água é um elemento natural precioso, que deve ser utilizado pela agricultura intensiva, de modo que não venha causar impactos para o ambiente e, conseqüentemente, para o próprio homem.

A Figura 1 mostra um desenho esquemático correspondente a água no balanço hídrico, que contempla os principais componentes do sistema solo-água-planta característicos de uma cultura sob condições de irrigação. Pode-se aproveitar esta Figura para fazer alguns comentários relativos ao manejo da água de irrigação. Ou seja, quando se aplica uma lâmina de água que supera a capacidade de armazenamento do solo na profundidade efetiva da raiz, pode resultar na perda de água por percolação profunda e, conseqüentemente, na lixiviação de nutrientes e na elevação das despesas com bombeamento e com custo de água. Deste modo, quando a perda de água por percolação é significativa, pode provocar uma elevação significativa do lençol freático, que, dependendo da sua profundidade, pode condicionar a asfixia do sistema radicular da planta.



**Fig. 1.** Desenho esquemático do balanço hídrico correspondente a uma cultura irrigada.

Os processos de evaporação e de precipitação são dependentes das condições climáticas reinantes, enquanto o de transpiração é decorrente do clima e do estágio fenológico da planta. A associação dos processos de transpiração e de evaporação resulta na evapotranspiração da cultura (ETc), a qual é função da evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente de cultura (Kc).

O percentual de retenção da água pelo solo na profundidade efetiva da raiz, proveniente da irrigação, depende da capacidade de retenção do solo, conteúdo de água no solo no momento da irrigação, formato e dimensões do volume de solo explorado pelo sistema radicular e volume de água aplicado em cada irrigação. Diante disso, de um modo geral, sob irrigação por gotejamento, são esperadas uma maior perda de água por percolação profunda e uma menor perda por evaporação, enquanto que sob irrigação por microaspersão ou mesmo por aspersão, pode ocorrer o inverso. Assim, em algumas situações, uma elevada perda de água por percolação profunda pode condicionar uma elevação significativa do lençol freático, o que pode implicar, também, em uma elevada ascensão capilar, caso haja déficit hídrico no solo.

Sob irrigação por microaspersão com uma frequência de irrigação diária, as perdas de água por evaporação podem se tornar significativas, principalmente para a cultura da videira, em que a percentagem de área molhada por planta tende a variar entre 80 e 100%.

Deste modo, quando a lâmina ou o volume de água aplicado em uma dada irrigação é superior à capacidade de retenção de água pelo solo, a perda de água por percolação profunda pode se tornar excessiva. Quando isso ocorre em uma área com drenagem subterrânea, pode-se constatar visualmente as referidas perdas de água provocadas por uma irrigação com baixo nível de otimização (Fig. 2).



Foto: José Monteiro Soares

Foto 1. Dreno coletor mostrando perdas de água de irrigação por percolação profunda por meio de drenagem subterrânea. Petrolina – PE.

Os procedimentos para execução do manejo da água de irrigação em culturas frutícolas compreendem os seguintes passos:

## Determinação da evapotranspiração de referência – ETo

O valor diário da **ETo** ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) poderá ser calculado com base em dados obtidos em estações agrometeorológicas automáticas (Fig. 3a) ou convencionais (Fig. 3b), instaladas em propriedades privadas, ou pertencentes a órgãos públicos, situadas num raio máximo de 40 km em relação à área considerada.



Foto: José Monteiro Soares



Foto: José Monteiro Soares

Fig. 3. Estações agrometeorológicas: a) automática; b) convencional, Embrapa Semi-Árido, Petrolina – PE.

Cálculo da evapotranspiração de referência (**ET<sub>o</sub>**) com base na metodologia proposta pelo Manual 56 da FAO (Allen et al., 1998).

A Embrapa Semi-Arido já disponibiliza diariamente na sua homepage <http://www.cpatsa.embrapa.br/>, elementos meteorológicos, inclusive **ET<sub>o</sub>**, correspondentes a cada uma das sete estações agrometeorológicas automáticas localizadas nas áreas irrigadas do polo Petrolina - PE/ Juazeiro - BA. Quando os dados são obtidos por meio de estações agrometeorológicas automáticas, o cálculo da **ET<sub>o</sub>** pode ser feito automaticamente, no próprio sistema de aquisição de dados que compõe a estação, ou em computadores com base em planilhas eletrônicas. Deve-se utilizar a metodologia de Penman-Monteith, em conformidade com o Manual 56 da FAO. Para locais fora do raio de 45 km, em relação a uma dada estação, sugere-se fazer uma interpolação de dados envolvendo, pelo menos, três estações circunvizinhas à área em consideração. Para regiões em que não há disponibilização deste parâmetro (**ET<sub>o</sub>**) via internet, pode-se determiná-lo por meio de algumas fórmulas associadas com tabelas, obedecendo à seqüência mostrada no Quadro 1, em conformidade com o Manual 56 da FAO.

O valor da **ET<sub>o</sub>**, também, poderá ser calculado com base na evaporação da água do tanque classe A, instalado em uma estação agrometeorológica convencional ou no próprio lote/fazenda, como segue:

$$ET_o = K_p \cdot E_t \quad (1)$$

em que **ET<sub>o</sub>** é a evapotranspiração de referência, em mm.dia<sup>-1</sup>, **K<sub>p</sub>** é o coeficiente de tanque classe A (Anexo I - Tabela 1); **E<sub>t</sub>** é a evaporação do tanque classe A (mm.dia<sup>-1</sup>).

O valor de **K<sub>p</sub>** poderá, também, ser determinado com base em fórmulas empíricas, como, por exemplo, a equação proposta por Pereira et al. (1994):

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376U + 0,0045UR \quad (2)$$

em que F é a largura da faixa de bordadura em torno da Estação Meteorológica, em m; U é a velocidade do vento, em km/dia; UR é a umidade relativa do média diária do ar em %.

Se a fazenda/lote dispõe apenas de um tanque classe A, este deverá ser devidamente instalado em área gramada e cercada, com dimensões de 20m x 20m (Fig. 4a), quando destinado à obtenção de informações para áreas irrigadas, ou em área não gramada (Fig. 4b), quando destinado a áreas dependentes de chuva. Atualmente, tem-se recomendado o uso de áreas no formato circular com 10m de raio. Entretanto, para determinação do valor

de **K<sub>p</sub>** com maior precisão, recomenda-se a instalação, também, de um anemômetro de conchas dentro da área onde o tanque de evaporação estiver situado, visando a obtenção de medidas de velocidade do vento. Os valores relativos à umidade relativa do ar podem ser obtidos a partir de estações agrometeorológicas circunvizinhas, ou a partir de psicrômetro instalado em um abrigo adequado, também dentro da área onde o tanque encontra-se instalado.



Foto: José Monteiro Soares



Foto: José Monteiro Soares

Fig. 4. Tanque classe A com área: a) gramada ou vegetada; b) não gramada ou não vegetada, Petrolina-PE.

## Determinação da evapotranspiração da cultura – **ET<sub>c</sub>**

O valor diário da **ET<sub>c</sub>** poderá ser obtido por meio da seguinte equação:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (3)$$

em que **ET<sub>c</sub>** é a evapotranspiração da cultura (mm.dia<sup>-1</sup>); **K<sub>c</sub>** é o coeficiente da cultura (adimensional), cujos valores podem variar com a espécie, variedade, idade da planta,



práticas culturais, entre outros, e que foram determinados com base em estudos realizados na região considerada. As Tabelas 2 a 8 (Anexo II) mostram valores de **Kc** para as culturas da videira, mangueira, goiabeira, bananeira, coqueiro e aceroleira, respectivamente.

O valor diário da **ETc** para plantas jovens (plantas com idade inferior a um ano) deve ser ajustado como segue:

$$ETc = Kc \cdot KI \cdot ET0 \quad (4)$$

em que **ETc** é a evapotranspiração da cultura (mm.dia<sup>-1</sup>); **KI** é o coeficiente de localização (adimensional), sendo determinado pela seguinte equação:

$$KI = \frac{Pam + Kc}{100} \quad (5)$$

em que **Pam** é obtida pela relação entre a área molhada por planta (**A<sub>m</sub>**) e a área de domínio da planta (**A<sub>p</sub>**). A **Pam** depende do tipo de emissor: a) gotejador – depende da vazão do emissor, volume de água aplicado e classe textural e estratificação do solo; b) microaspersor – depende do raio de alcance e da intensidade de precipitação ao longo do seu raio. Quando **Pam** ≥ **Kc** ⇒ **KI** = **Pam**. Quando o valor de **KI** for igual ou maior que 0,75, adotar 1 (**KI** = 1).

Obs.<sub>1</sub>: Esta recomendação é válida para culturas mantidas no limpo (sem a presença de ervas daninhas);

Obs.<sub>2</sub>: Vale salientar que a maioria das equações que sugerem a estimativa de **KI** leva em consideração a proporção de cobertura vegetal ou de sombreamento da superfície do solo.

## Cálculo da lâmina bruta de irrigação – **Lb**

O cálculo de **Lb** pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$Lb = \frac{ETc - Pe}{Ea} \quad (6)$$

em que **Lb** é a lâmina bruta (mm); **Pe** é a precipitação efetiva (mm), que corresponde à fração da precipitação pluviométrica efetivamente aproveitável pela planta e **Ea** é a eficiência de irrigação (%). A precipitação efetiva poderá ser calculada de acordo com a metodologia proposta por USDA (1970), citada por Jensen et al. (1990), como segue:

$$Pe = f(A_r) \left[ 1,25 \cdot P^{0,824} - 2,93 \right] \left[ 0^{0,000955Ei} \right] \quad (7)$$

$$f(A_r) = 0,53 + 0,0116 \cdot A_r - 8,94 \times 10^{-5} \cdot A_r^2 + 2,32 \times 10^{-7} \cdot A_r^3 \quad (8)$$

$$A_r = 10 \cdot (\theta_{cc} - \theta) \cdot Dg \cdot Pr \quad (9)$$

em que **f(A<sub>r</sub>)** é o fator de correção adimensional (Anexo III - Tabela 9); **P** é a precipitação pluviométrica (mm); **A<sub>r</sub>** é a capacidade de armazenamento do solo na profundidade efetiva da raiz (mm); **θ<sub>cc</sub>** e **θ** correspondem aos conteúdos de água na capacidade de campo e no momento da irrigação (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>); **Dg** é a densidade global (g.cm<sup>-3</sup>) e **Pr** é a profundidade efetiva da raiz (cm).

No caso do uso de sistemas de irrigação por microaspersão e por gotejamento, **Ea** = **CUDV** (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de Vazão); para os sistemas de irrigação por aspersão e por aspersão sobcopia, **Ea** = **CUC** (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen). Porém, no caso da irrigação por microaspersão, recomenda-se, também, determinar o **CUDP** (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de Precipitação), para uma análise complementar do manejo de água, principalmente quando se trata da cultura da videira, em que 80 a 100% da área de domínio da planta é umedecida. Valores aceitáveis de **Ea** por sistema de irrigação são: a) aspersão: <sup>3</sup>70%; b) microaspersão: <sup>3</sup>85%; c) gotejamento: <sup>3</sup>90%. O ideal é determinar este parâmetro com base nas condições operacionais de cada sistema de irrigação.

A Tabela 8 (Anexo III) apresenta valores de precipitação efetiva calculados para condições específicas, bem como valores de **f(A<sub>r</sub>)** para diferentes capacidades de armazenamento de água pelo solo na profundidade efetiva da raiz.

Em termos práticos, pode-se adotar o seguinte critério para a estimativa de **Pe** :

- ☆ Quando **P** ≤ 5mm, e essa chuva é decorrente de uma precipitação pluviométrica isolada, considerar **Pe** = 0. Ou seja, deve-se realizar a irrigação de forma normal.
- ☆ Quando 5mm < **P** ≤ 10mm e essa chuva é decorrente de uma precipitação pluviométrica isolada e a previsão de tempo sinaliza que os dias seguintes serão de “céu claro ou dias com baixa probabilidade de ocorrência de chuva”, deve-se suspender a irrigação apenas por 1 dia.
- ☆ Quando 10mm < **P** ≤ 20mm, e essa chuva é decorrente de uma precipitação pluviométrica isolada e a previsão de tempo sinaliza que os dias seguintes serão de “céu claro”, deve-se suspender a irrigação por 2 a 3 dias.
- ☆ Para precipitações > 20mm ou ocorrências continuadas de chuvas nos níveis apresentados, ou se o tempo se mantiver “nublado” após as chuvas, o monitoramento da umidade do solo será recomendado para melhor indicar o momento do reinício da irrigação.

**Atenção:** É muito importante fazer a comparação a seguir. Se o valor de **Lb** for maior que o valor da lâmina de água que o solo pode armazenar na profundidade efetiva da raiz (**Lif**), deve-se adotar o princípio da intermitência de irrigação, quando se trata de irrigação por gotejamento ou ajustar a frequência de irrigação, quando se trata de irrigação por microaspersão ou por outros sistemas.

A lâmina de água infiltrada no solo (**Lif**) poderá ser calculada conforme a expressão seguinte:

$$Lif = \frac{(\theta_{cc} - \theta_{pmp})}{100} \cdot Dg \cdot Pr \cdot y \quad (10)$$

em que **Lif** é a lâmina de água infiltrada no solo (mm);  $\theta_{cc}$  e  $\theta_{pmp}$  correspondem aos conteúdos de água do solo na capacidade de campo e no ponto de murchamento permanente ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ); **Dg** é a densidade global do solo ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ); **Pr** é a profundidade efetiva do sistema radicular (mm) e **y** é o nível de esgotamento da água disponível no solo, considerado como adequado para uma dada cultura. Em termos práticos, poderá se adotar os valores de **y** como sendo:

- **y** £ 0,30 para solos argilosos;
- **y** £ 0,40 para solos de textura média bem estruturados e solos arenosos;
- **y** £ 0,25 em qualquer tipo de solo se o sistema de irrigação for tipo localizada.

O procedimento mais correto seria a utilização dos valores de umidade do solo determinados para as camadas de 0,20 m até a profundidade de 1,00 m, antes da programação da irrigação. Caso esta condição seja atendida, recomenda-se adotar a lâmina de água armazenável na profundidade efetiva da raiz (**Lar**), de conformidade com o item monitoramento do manejo da irrigação.

O volume total de água a ser aplicado por planta pode ser calculado pela seguinte equação:

$$V_b = Lb \cdot Fc \cdot Ap \quad (11)$$

em que **V<sub>b</sub>** é o volume total ou volume bruto de água aplicado por planta (L); **F<sub>c</sub>** é o fator de cobertura do solo (%) e **A<sub>p</sub>** é a área da planta ( $\text{m}^2$ ). Obs.: Quando a porcentagem de cobertura do solo pela planta for maior ou igual a 75%, adotar **F<sub>c</sub> = 1**. No entanto, experiências de campo na região semi-árida têm mostrado que pode adotar-se o valor de **F<sub>c</sub> = 1**, quando a cobertura do solo for maior que 60%.

**Obs.:** Se o valor de **V<sub>b</sub>** é maior que o volume de água armazenável no volume de solo molhado e explorado pelo sistema radicular da planta (**V<sub>ar</sub>**), deve-se adotar o mesmo procedimento recomendado no item 4.1. Ou seja, deve-se fracionar o tempo de irrigação por unidade de rega.

No entanto, para se converter o volume de água aplicado por planta no volume de água a ser aplicado por unidade de rega, pode-se proceder como segue:

$$V_{bur} = 1.000 \cdot V_b \cdot N_p \quad 12$$

em que **V<sub>bur</sub>** é o volume total de água a ser aplicado por unidade de rega ( $\text{m}^3$ ) e **N<sub>p</sub>** é o número de plantas por unidade de rega.

## Cálculo do tempo de irrigação – Ti

O cálculo do tempo de irrigação para sistemas de irrigação por aspersão convencional, por aspersão sobcopia ou por microaspersão (quando de 80 a 100% da área de domínio da planta é umedecida pelo emissor) é determinado com base em **Lb**, como segue:

$$Ti = \frac{Lb}{Ia} \quad 13$$

em que **Ti** é o tempo de irrigação (h); **Lb** é a lâmina bruta (mm) e **Ia** é a intensidade de irrigação ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

O cálculo do tempo de irrigação para gotejamento é determinado com base no volume bruto (**Vb**), como segue:

$$Ti = \frac{Vb}{e \cdot q} \quad 14$$

em que **Ti** é o tempo de irrigação (h); **Vb** é o volume bruto (L); **e** é o número de emissores por planta e **q** é a vazão média do emissor ( $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

Obs.: Este mesmo procedimento de cálculo do tempo de irrigação deve ser adotado para o sistema de irrigação por microaspersão, quando este irriga de forma localizada.

No caso de se adotar a intermitência de irrigação, principalmente sob gotejamento, o tempo real de irrigação (**t<sub>r</sub>**) e o tempo de repouso entre duas irrigações consecutivas (**t<sub>r</sub>**) são determinados por meio das seguintes equações, propostas por Soares (2003), como segue:

$$tir = \frac{Lb \cdot Fc \cdot Ap}{n \cdot e \cdot q} = \frac{Vb}{n \cdot e \cdot q} \quad 15$$

$$tr = (m - 1) \frac{Lb \cdot Fc \cdot Ap}{n \cdot e \cdot q} = (m - 1) \frac{Vb}{n \cdot e \cdot q} \quad 16$$

em que  $m$  é o número de unidades de rega do sistema por subárea;  $n$  é número de intermitências.

## Determinação da freqüência de irrigação ( $F$ )

A freqüência de irrigação (em dias), intervalo entre duas irrigações consecutivas, deverá ser pré-estabelecida, no caso de uso de sistemas de irrigação por aspersão convencional e por aspersão sobcropa, bem como em sistemas de microaspersão, cuja percentagem de área molhada aproxima-se de 100%, com base na equação seguinte:

$$F = \frac{Lar}{ETcm} \quad (17)$$

sendo  $F$  a freqüência de irrigação (dia);  $L_{ar}$  a lâmina de água armazenável na profundidade efetiva da raiz e  $ETcm$  a evapotranspiração média da cultura prevista para o intervalo de irrigação em questão, que pode ser determinada tomando-se a média aritmética dos dados correspondentes ao intervalo considerado.

## Lâmina ( $Lar$ ) ou volume de água armazenável ( $Var$ ) na profundidade efetiva do sistema radicular das culturas

O volume de água armazenável na profundidade efetiva do sistema radicular de uma planta depende da capacidade hídrica do solo, da profundidade efetiva do sistema radicular e do formato da área molhada por planta.

Para se calcular a lâmina de água armazenável, deve-se proceder como segue:

$$Lar = \sum_1^n (Lar_1 + Lar_2 + \dots + Lar_n) = \sum [\theta_{cc1} - \theta_1) Dg_1 \cdot Pr_1 + \dots + (\theta_{ccn} - \theta_n) Dg_n \cdot Pr_n] \quad (18)$$

em que  $Lar$  é a lâmina de água armazenável na profundidade da raiz (mm);  $Lar_1$ ;  $Lar_2$  .....  $Lar_n$  correspondem às lâminas de água armazenáveis nas camadas 1, 2 ..... $n$ ;  $\theta_{cc}$  representa o conteúdo de água no solo na capacidade de campo correspondente a cada camada ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ );  $\theta_1$  representa o conteúdo de água no solo no momento da irrigação relativa a cada camada ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ );  $Dg_1$ ,  $Dg_2$  .....  $Dg_n$  correspondem às densidades globais ( $g \cdot cm^{-3}$ ) das camadas 1, 2 ..... $n$  e  $Pr_1$ ,  $Pr_2$  .....  $Pr_n$  correspondem à espessura (mm) das camadas 1, 2 ..... $n$ .

Para o cálculo do volume de água armazenável pelo solo na profundidade efetiva da raiz, na condição em que a

área molhada adquire o formato quadrangular ou retangular, deve-se adotar a seguinte equação:

$$Var = Am \cdot Lar = Lm \cdot Ep \cdot Am \quad (19)$$

em que  $Var$  é o volume de água armazenável na profundidade da raiz (L);  $Am$  é a área molhada por planta ( $m^2$ );  $Lm$  corresponde à largura da área molhada por planta (m) e  $Ep$  é o espaçamento entre plantas (m).

Para a condição em que a área molhada por planta adquire o formato circular, o volume de água armazenável pode ser calculado pela seguinte equação:

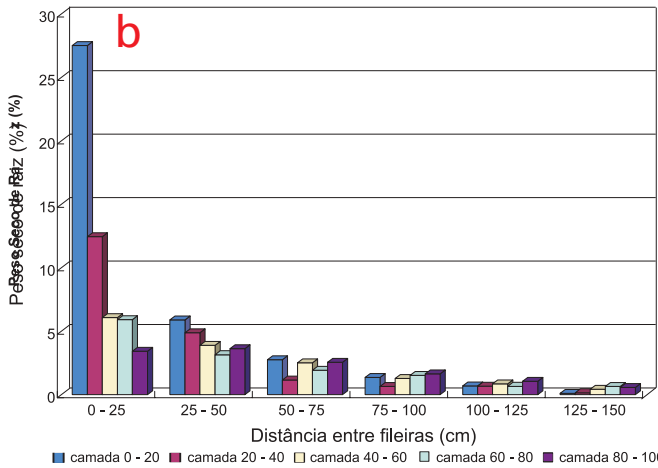
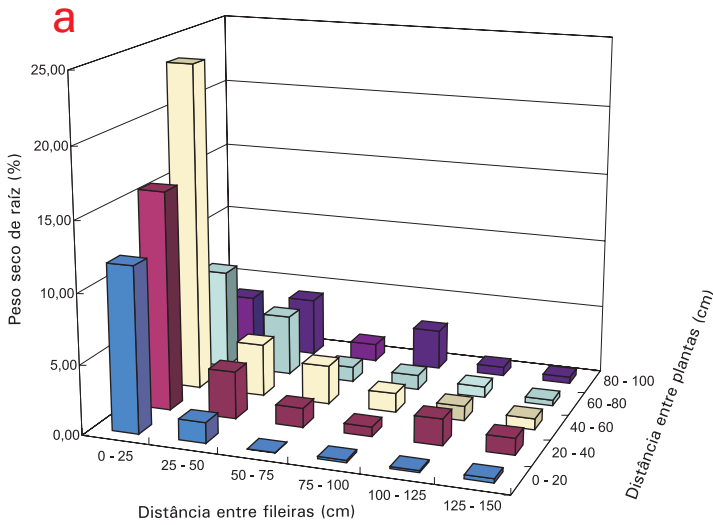
$$Var = Am \cdot Lar = \pi \cdot R^2 \cdot Lar \quad (20)$$

em que  $\pi$  é igual a 3,1416 e  $R$  é o raio da área molhada por planta (m).

## Distribuição do sistema radicular e formas de representação

O conhecimento da distribuição do sistema radicular de uma cultura, especialmente de fruteiras, nas diversas classes de solo, é de fundamental importância para o manejo adequado de água de irrigação, para o manejo racional e eficiente de nutrientes aplicados via água de irrigação, bem como para a concepção do sistema de irrigação localizada. Existem várias metodologias utilizadas para sua determinação, podendo destacar-se, dentre elas, o método dos monólitos recomendado por Kolensikov (1971) e o método SIARCS 3.0 para windows, recomendado pela Embrapa [s.d.]. Quando se utiliza o método dos monólitos, a sua representação pode ser feita por meio de Tabelas ou de Figuras, em que a concentração de raízes por camada pode ser expressa na forma de massa seca ou em percentagem. A Figura 5 mostra um exemplo de estudo realizado com a cultura da videira irrigada por gotejamento, na região do Submédio São Francisco. Pode-se observar que a distribuição horizontal das raízes na camada 0 a 20 cm tende a concentrar-se nas proximidades da planta (Figura 5a). Quando se analisa a distribuição vertical das raízes no sentido entre fileiras, pode-se verificar que a sua concentração tende a decrescer de maneira brusca, principalmente quando a videira é irrigada por gotejamento (Figura 5b). Quando se faz uma avaliação da distribuição vertical simples, pode-se constatar que a sua concentração, também, tende a decrescer de maneira brusca com a profundidade das camadas (Figura 5c), mas que depende da composição textural e estrutural das camadas do solo. Nos solos de textura arenosa, tem-se constatado que 90% das raízes estão concentradas na camada de 0 a 60 cm.

Distribuição Horizontal do Sistema Radicular da Videira - Camada 0 - 100



Dist\_Hor\_Raiz por Camada em Relação a Camda (0 - 100)

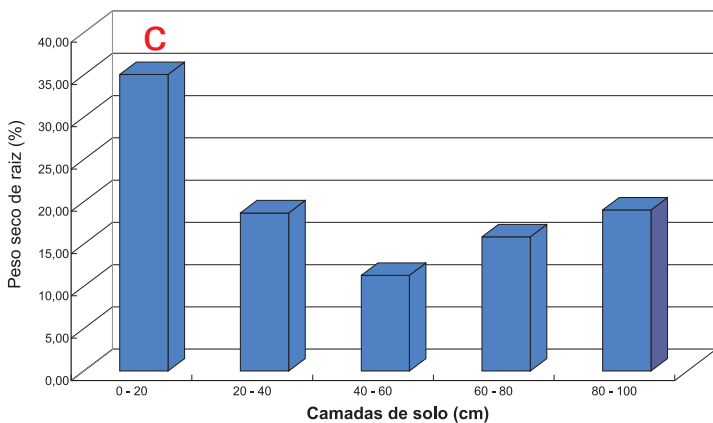


Fig. 5. Distribuição do sistema radicular da videira: a) vertical; b) vertical no sentido entre duas fileiras consecutivas, c) horizontal na camada 0 a 100 cm, Petrolina-PE.

Quando se utiliza a metodologia recomendada pela Embrapa [s.d.], em que a massa seca de raiz é convertida em unidade de área de raiz por unidade de área da camada do solo, tem-se uma representação acumulada da concentração de raízes tanto no sentido longitudinal quanto transversal à fileira de plantas (Figura 6).

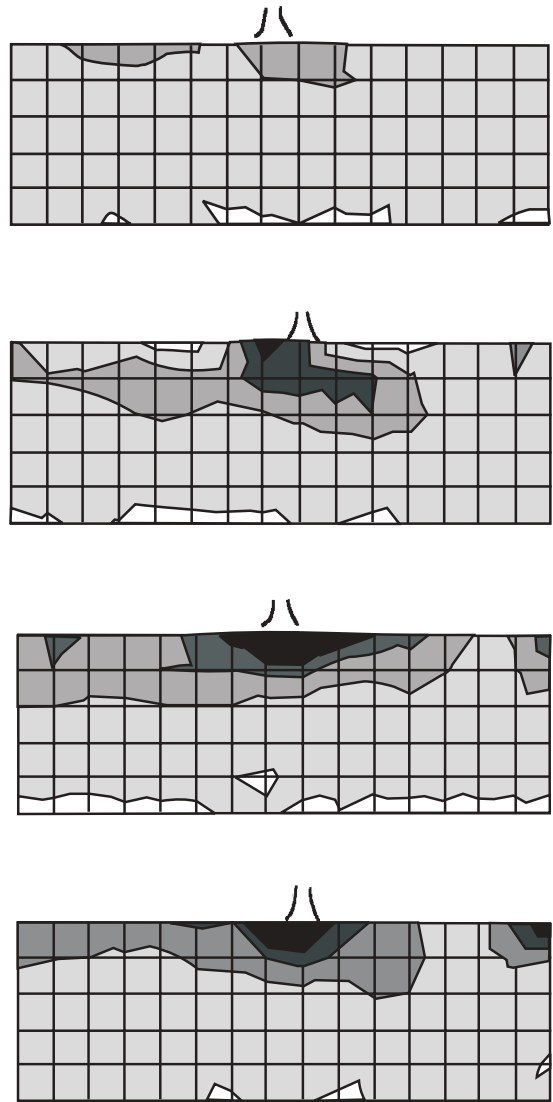


Fig 6.- Distribuição de raízes de quatro porta-enxertos de videira para a cv. Superior Seedless em um solo de textura arenosa, Petrolina – PE. Fonte: Bassoi et al. (2002).

Por outro lado, também, pode-se proceder a uma avaliação visual da distribuição do sistema radicular das plantas, por meio da abertura de trincheira tanto no sentido transversal à fileira quanto no longitudinal, conforme pode ser observado nas Fotos 7a a 7c. Caso haja interesse em fotografar a distribuição das raízes, recomenda-se pintá-las com tinta látex na cor branco neve, utilizando-se pincel fino.





Fig. 7. Detalhes da distribuição do sistema radicular da videira: a) em Latossolo Vermelho-Amarelo, sob irrigação por gotejamento; b) em Vertissolo, sob irrigação por gotejamento; c) em Neossolos Quartzarênicos, sob irrigação por microaspersão, Petrolina-PE.

## Monitoramento do manejo da irrigação

O manejo de irrigação das culturas, com base nas determinações da *ET<sub>o</sub>* e da *ET<sub>c</sub>* e nos procedimentos de cálculos, conforme discutido nos itens anteriores, necessita de outras técnicas de monitoramento nas áreas em apresto. Dentre estas técnicas, podem-se destacar: a) monitoramento da umidade no solo; b) monitoramento do comportamento das plantas quanto às suas respostas fisiológicas e morfológicas (aspectos visuais) em relação aos níveis de umidade no solo.

### Monitoramento do conteúdo de água no solo

O nível de umedecimento do solo, normalmente, é representado pelo volume de água contido em uma unidade de volume de solo, e destaca-se como uma

informação bastante útil para o monitoramento do manejo da água de irrigação.

Este parâmetro pode ser determinado por meio de métodos diretos e indiretos. Os métodos de medição direta compreendem basicamente a gravimetria (padrão), o FDR (Frequency Domain Reflectometry) e a sonda de nêutrons, enquanto os métodos de medições indiretas compreendem o uso da tensiometria e da resistência elétrica do solo.

#### Método gravimétrico

Este é o método padrão tradicionalmente usado para determinação direta do conteúdo de umidade no solo, pela sua simplicidade operacional. Ele consiste na coleta de uma amostra de solo numa camada específica do seu perfil e na determinação do seu conteúdo de água com base no secamento da amostra em estufa a 105° C, durante um



período de 24 horas. Quando usado com cuidado e com um número suficiente de repetições, apresenta-se como um dos métodos mais precisos, além de ser freqüentemente usado tanto para calibração quanto para comparação com outros métodos de determinação de umidade. É necessária, pelo menos, a coleta de três amostras por camada de solo para reduzir a variabilidade da amostragem e, assim, aumentar a precisão do resultado.

Como se trata de um método destrutivo, não há possibilidade de repetição de leituras em um mesmo ponto. Além disso, pode condicionar o corte de raízes ou mesmo a queima de matéria orgânica existente no solo.

Para se determinar o conteúdo de água em uma amostra de solo em base de peso, procede-se da seguinte maneira:

$$\theta = \frac{M_{su} - M_{ss}}{M_{ss}} \times 100 \quad (21)$$

em que  $\theta$  é o conteúdo de água no solo, em %;  $M_{su}$  e  $M_{ss}$  correspondem às massas de solo úmido e de solo seco, em g, respectivamente.

No entanto, o valor da umidade em base de peso seco deve ser convertido em base de volume, como segue:

$$\theta_v = \theta \cdot Dg \quad (22)$$

em que  $\theta_v$  é o conteúdo de água no solo, em  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  e  $Dg$  é a densidade global do solo, em  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Para determinação da densidade global, também, é necessário proceder-se à amostragem do solo, utilizando-se anéis de metal para obtenção de amostras indeformadas, as quais, também, devem ser submetidas ao mesmo procedimento de secagem em estufa recomendado para determinação da umidade do solo. O valor da densidade global deve ser calculado com base na seguinte equação:

$$Dg = \frac{M_{ss}}{V} \quad (23)$$

em que  $V$  é o volume de solo, em  $\text{cm}^3$ .

### Tensiômetro

É um instrumento utilizado para determinação do potencial matricial de água no solo ou, simplesmente, tensão de água no solo. As Figuras 8a e 8b mostram detalhes de um tensiômetro cujo elemento sensível é o mercúrio e de tensiômetro cujo elemento é o tensímetro, respectivamente. O potencial de água no solo é um fator que descreve o estado de energia da água no solo e é crítico para as análises de fluxos de água, para estimativa

do armazenamento de água no solo e para a relação solo-água-plantas. A diferença de potencial de água no solo entre dois pontos distintos do perfil do solo indica a tendência do fluxo de água, que se dá do ponto de maior para o de menor potencial.

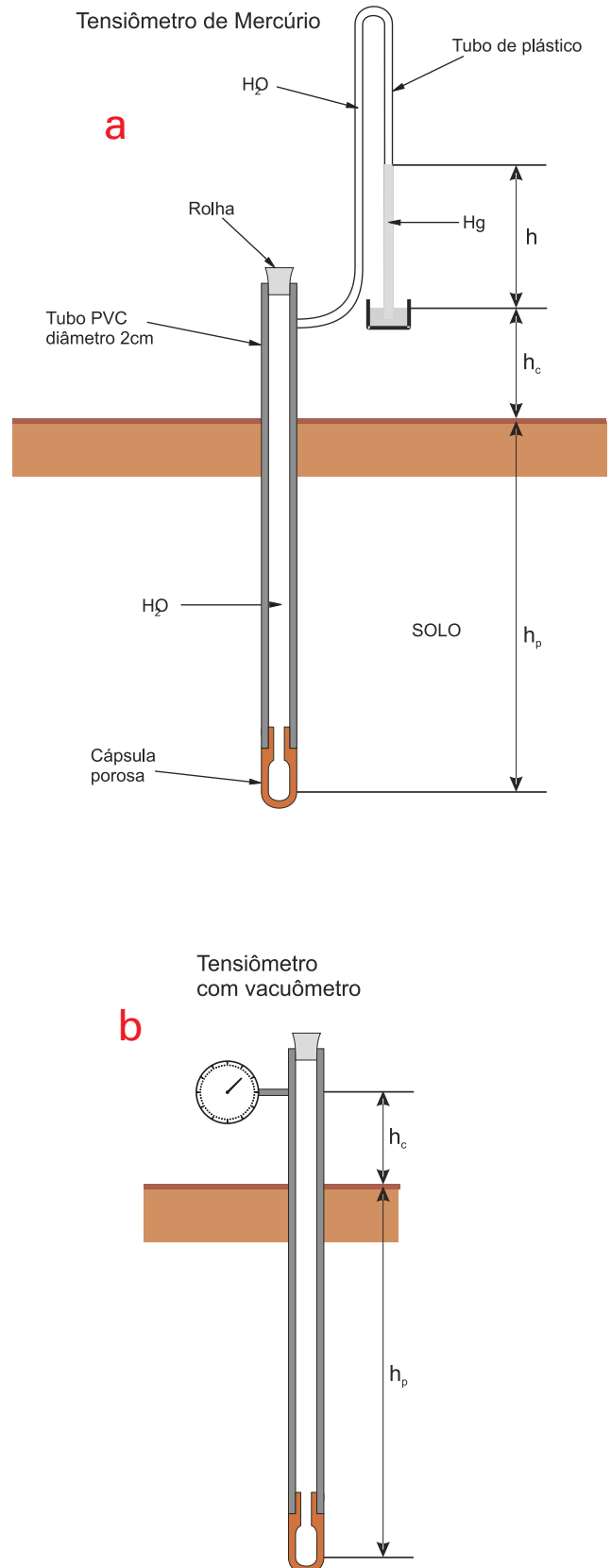


Fig. 8. Detalhamento do tensiômetro de mercúrio e do vacuômetro.

A altura da coluna de mercúrio corresponde ao potencial matricial de água no solo, proposta por Libardi (1995), é obtida pela seguinte equação:

$$\phi_m = -12,6.h_{Hg} + h_c + h_p \quad (24)$$

em que  $\theta_m$  é o potencial matricial da água no solo (cca);  $h_{Hg}$  é a altura da coluna de mercúrio (cm);  $h_c$  é a altura entre o nível do mercúrio no reservatório e a superfície do solo (cm);  $h_p$  é a altura entre a superfície do solo e a profundidade da cápsula (considerar metade do comprimento da cápsula porosa). Para se converter centímetro de coluna de água (cca) em centibar (cbar), basta dividir o valor da leitura em cca por 10.

Deve-se salientar que o funcionamento do tensiômetro está restrito ao intervalo de tensão de água no solo entre 0 e 80 kPa ou 0 e 80 cbar. Ou seja, seu funcionamento é interrompido, quando o potencial matricial da água no solo torna-se maior que 80 kPa. Nesta tensão, ocorre a quebra da coluna ou do filete de água entre a cápsula e o solo.

Obs.: kPa (kilopascal) = 1 cbar = 10,33 cca.

Para converter a leitura do tensiômetro de mercúrio em conteúdo de água no solo, é necessária a determinação da curva de retenção de umidade do solo, específica para cada camada de solo. Esta curva representa a relação existente entre um dado nível de tensão ou de energia e o seu respectivo valor do conteúdo de água retido pelo solo. Esta pode ser obtida em laboratório, por meio de amostras de solo deformadas ou não, representativas de camadas do solo de um local e profundidade específicos. Os dados pontuais da curva de retenção de água, correspondentes às tensões de 6, 10, 30, 50, 1000 e 15.000 kPa, podem ser ajustados a um modelo matemático de van Genuchten (1980), utilizando regressão não-linear (Kennedy e Gentle, 1980, citados por Freitas Jr. e Silva, 1984), conforme equação a seguir:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha\phi_m|^{n \cdot m}\right]} \quad (25)$$

em que  $\theta$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_s$  correspondem às umidades volumétricas atual, residual e de saturação, respectivamente, expressas em  $\text{cm}^3$  de  $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{cm}^{-3}$  de solo;  $\phi_m$  é o potencial matricial da água no solo - kPa;  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são constantes empíricas do modelo, determinadas com base no método do mínimo quadrado (valores estes que devem acompanhar o resultado da retenção de água no solo determinada em laboratório). O parâmetro  $m$  é dado por  $m = 1 - 1/n$ .

A Figura 9 mostra um exemplo típico de curvas de retenção de água representativas de um Latossolo Vermelho-Amarelo, correspondentes às camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, determinadas pelo método de

centrífuga, recomendado por FREITAS Jr. e SILVA (1984).

Obs.<sub>1</sub>: Os parâmetros  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  da equação 25 devem ser solicitados ao laboratório de solos, por ocasião da determinação da curva de retenção;

Obs.<sub>2</sub>: Com base nos valores dos potenciais matriciais obtidos ao longo do perfil do solo, pode-se obter a tendência do movimento de água. Desse modo, os potenciais matriciais obtidos em duas camadas consecutivas, imediatamente abaixo da profundidade efetiva da raiz, podem ser utilizados para o cálculo do fluxo ascendente ou descendente de água, bem como para determinação do consumo de água pela planta, por meio do balanço hídrico no solo.

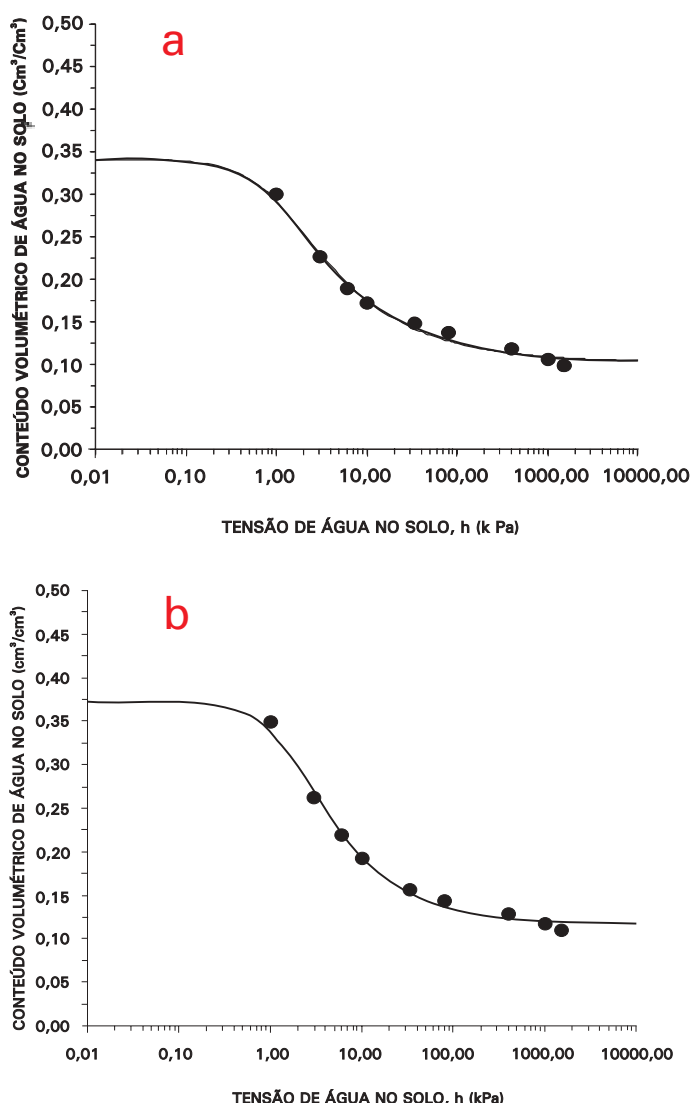


Fig. 9. Curva de retenção de água no solo representativa de um Latossolo Vermelho-Amarelo, correspondente às camadas de: a) 0 a 20 cm; b) 20 a 40 cm, Petrolina-PE.

#### Domínio da frequência de resposta da reflectometria (FDR)

É um instrumento utilizado para medição da umidade volumétrica do solo com base na capacitância do solo, pois o solo age como o complemento dielétrico à

capacitância do circuito, que é parte da resposta do oscilador/transmissor de alta frequência, quando ondas de rádio de alta frequência, cerca de 100 MHz (similar à frequência de rádio FM), são pulsadas por meio de um circuito de ressonância natural que é dependente da capacitância do solo. A capacitância do solo está relacionada com a constante dielétrica pela geometria do campo elétrico estabelecido em torno do eletrodo (Tomasz et al., 1994).

A equação universal para conversão da velocidade de propagação da onda eletromagnética no solo, em conteúdo de umidade volumétrica do solo, depende do tipo de solo, se mineral ou orgânico, como segue:

$$\theta_{\text{mineral}} = -0,113 + 1,62.V - 3,56.V^2 + 8,63.V^3 \quad (26)$$

$$\theta_{\text{Orgânico}} = -0,084 + 1,77.V - 3,88.V^2 + 9,42.V^3 \quad (27)$$

em que  $\theta_{\text{mineral}}$  e  $\theta_{\text{Orgânico}}$  correspondem ao conteúdo de água no solo ( $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ );  $V$  é a voltagem da onda eletromagnética no solo (mV).

Esta técnica, também, permite a medição instantânea do conteúdo de água no solo, utilizando-se uma sonda segmentada portátil que é introduzida em tubos de acesso em fibra de vidro, instalados em pontos pré-estabelecidos na área irrigada (Fig. 10). As leituras podem ser armazenadas em um módulo de memória, daí transferidas para um computador, onde são processadas ou podem emitir o resultado em umidade volumétrica de água no solo, caso tenha sido previamente programado para este fim.

A técnica de FDR permite que o monitoramento da dinâmica da água no solo seja feito de maneira automatizada, em curtos intervalos de tempo, durante 24 horas por dia, uma vez que as medições podem ser feitas em tempo real, o que torna esta tecnologia importante para medição do conteúdo de água no solo (Herkelrath et al., 1991).



Foto: José Monteiro Soares



Foto: José Monteiro Soares

Fig. 10. Detalhes do FDR portátil utilizado no monitoramento do conteúdo de água no solo, Petrolina-PE.

### Procedimentos de cálculo do conteúdo de água no solo e suas representações

A Tabela 10 (Anexo IV), apresenta o resumo dos procedimentos adotados para o cálculo do conteúdo de água no solo quando se utiliza tensiometria de mercúrio. Ou seja, por meio da equação 24, converte-se a leitura da coluna de mercúrio (coluna 3) em potencial matricial da água no solo (coluna 4), a qual é transformada em tensão de água no solo (coluna 5), multiplicando-se seu valor por -1. Os dados contidos nas colunas de 6 a 10 são provenientes da curva de retenção de água, enquanto o conteúdo de água no solo numa dada condição (coluna 11) é calculado com base na equação 25, utilizando os dados contidos nas colunas de 5 a 10.

A representação dos dados relativos ao conteúdo de água no solo ou à tensão correspondente pode ser mostrada por meio de Tabelas ou de Gráficos.

A apresentação em Gráficos tem a vantagem de mostrar a tendência de desempenho destes parâmetros ao longo do tempo.

Assim, a Tabela 11 (Anexo V) mostra um exemplo de representação dos cálculos relativos ao conteúdo de água no solo ( $\text{cm}^3$  de  $\text{H}_2\text{O}$ .  $\text{cm}^{-3}$  de solo), utilizando-se dados correspondentes à camada de 0 a 20 cm, referentes a um Latossolo Vermelho-Amarelo. Procedimentos similares devem ser adotados para o cálculo do conteúdo de água no solo para as demais camadas do perfil do solo.

Quando se utiliza tensímetros (Fig. 11b), ao invés de tensiômetro de mercúrio (Fig. 11a), a leitura da tensão de água no solo é obtida diretamente no visor do aparelho, mas deve-se ter o cuidado de subtrair o comprimento do tubo. Além disso, quando a leitura do tensímetro é expressa em psi (libras por polegada quadrada), deve-se multiplicar o valor obtido por 70,31 para transformá-lo em cca. No entanto, para se converter a tensão de água no solo em conteúdo de água, também se faz necessária a determinação da curva de retenção de água no solo, cujos procedimentos de cálculos são os mesmos indicados para a tensiometria de mercúrio (Tabela 10), devendo-se iniciar pela coluna 5.



Foto: José Monteiro Soares

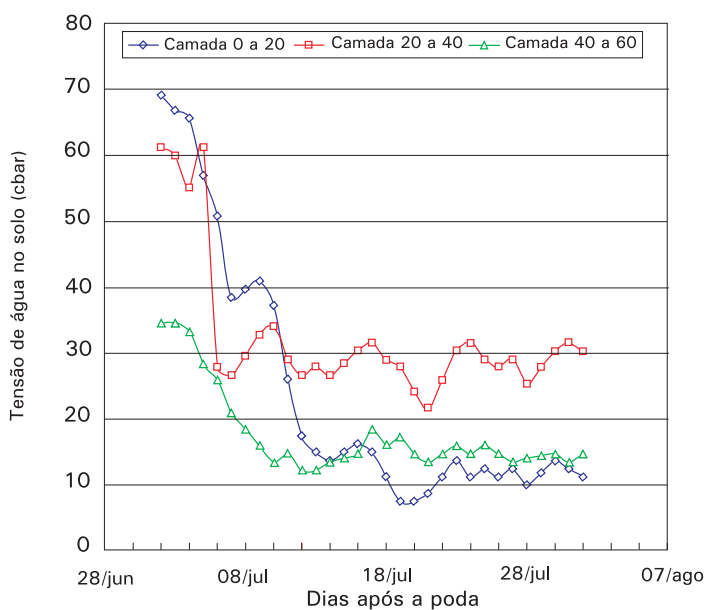


Foto: José Monteiro Soares

Fig. 11. Detalhes de equipamentos utilizados no monitoramento do conteúdo de água no solo: a) Tensiômetros de mercúrio; b) Tensímetro, Petrolina – PE.



A Figura 12, também, destaca-se como uma forma de representação do monitoramento da tensão de água no solo, tendo como base as leituras obtidas por meio de uma bateria de tensiômetros de mercúrio composta de cinco unidades, para o período de 01 mês (01/07 a 01/08/03), num cultivo de videira irrigada por gotejamento. Pode-se verificar que a tensão de água no solo, nas camadas 0 a 20 e 40 a 60 cm, manteve-se, em termos médios, entre 10 e 15 cbar (10 e 15 kPa) ao longo dos estádios de brotação e de desenvolvimento vegetativo da videira, enquanto na camada de 20 a 40 cm, a tensão oscilou em torno de 30 cbar. No entanto, no início do ciclo produtivo, quando o bulbo molhado ainda se encontrava em fase de recomposição, as tensões eram da ordem de 70 cbar, nas camadas mais superficiais. Isto significa que a manutenção do conteúdo de água no solo, na faixa de tensão entre 10 e 30 cbar, por um lado, pode potencializar a evapotranspiração da videira. Mas, por outro lado, a manutenção do conteúdo de água no solo, nas proximidades da capacidade de campo, pode condicionar a obtenção de perdas de água e de nutrientes por percolação profunda. Deste modo, para minimizá-la, deve-se fazer um monitoramento rigoroso do conteúdo de água no solo.



Na condição em que se pretende utilizar a medida do conteúdo ou da tensão de água no solo como ferramenta para a tomada de decisão, ou seja, quando e quanto irrigar, se faz necessária a escolha de uma área representativa da fazenda/lote, considerada como área piloto ou de referência, onde devem ser instaladas, pelo menos, três baterias de tensiômetros ou seis tubos de acesso (FDR), em que os pontos de monitoramento do

conteúdo de água no solo na área piloto devem estar localizados dentro do volume de solo explorado pelo sistema radicular, onde a concentração de raízes é mais intensa. Uma maneira bastante prática compreende a análise visual da distribuição do sistema radicular de uma planta, com base na abertura de trincheiras no volume de solo molhado, conforme Fig. 7.

Desse modo, é possível eleger-se tanto a distância em relação ao caule da planta quanto as profundidades em relação à superfície do solo onde as medições devem ser feitas. Conforme discutido no item 7, pode-se observar que a distribuição de sistema radicular depende, quase que exclusivamente, do tipo de sistema de irrigação, textura e estrutura do solo. Como regra geral, sugere-se o uso de um ponto por planta situado no sentido longitudinal ao longo da fileira, caso se trate de uma faixa molhada contínua (colchão molhado) ou num ponto qualquer dentro do volume de solo explorado pelo sistema radicular, caso se trate de áreas molhadas isoladas, circulares ou não. Em cada ponto, deve-se, ainda, escolher duas ou três profundidades, onde as medições devem ser realizadas. No caso da escolha de três profundidades, recomenda-se que duas delas situem-se na região de maior concentração de raízes, enquanto a terceira deve situar-se no limite inferior do sistema radicular, no sentido de possibilitar a identificação da ocorrência de perda de água por percolação profunda ou de ascensão capilar proveniente do lençol freático. No caso do uso de FDR portátil, os tubos de acesso podem ser instalados nas distâncias de 30, 60 e 100 cm em relação à planta, ao longo da fileira.

#### Monitoramento das respostas das plantas – aspectos fisiológicos e morfológicos visuais

O monitoramento dos aspectos fisiológicos e morfológicos visuais da planta, também, pode ser utilizado como uma ferramenta para identificar problemas com escassez ou excesso de água no solo. Ou seja, a sintomatologia de excesso ou de deficiência hídrica apresentada por uma planta é característica de cada espécie e é dependente do estágio fenológico no qual o excesso ou déficit hídrico ocorre, bem como das suas intensidades.

#### Aspectos fisiológicos e morfológicos visuais da cultura da videira

O primeiro sintoma visível em relação ao estresse hídrico é o murchamento das folhas e das gavinhas mais novas. A persistência desse fenômeno poderá provocar o encurtamento dos entrenós, cega dos ponteiros, perda de vigor vegetativo, amarelecimento e aparecimento de áreas necrosadas nas folhas, especialmente nas folhas basais, podendo induzir a queda das mesmas, além de reduzir o diâmetro do caule da planta (Smart & Coombe, 1983).

Durante as duas primeiras semanas após o início da frutificação, a divisão celular do pericarpo da baga é bastante intensa e a escassez de água nesta fase pode reduzir sensivelmente o tamanho da baga, o peso final dos cachos e, conseqüentemente, a sua produtividade (Kliwer et al., 1983).

O déficit hídrico no solo imposto antes ou após a fase de amolecimento da baga, também, inibe o seu crescimento, provocando reduções significativas na produtividade final, bem como na qualidade mercadológica. No entanto, no estágio de maturação final do fruto, um estresse hídrico moderado, geralmente, se faz necessário, de modo a favorecer o aumento da concentração de sólidos solúveis (Reynolds e Naylor, 1994), de antocianina (Mc. Carthy et al., 1983, citados por Smart e Coombe, 1983) e de prolina (Matheus e Anderson, 1989), o que pode trazer benefícios para a vida de prateleira da uva.

Por outro lado, o excesso de água no solo, proveniente de irrigações excessivas ou de chuvas intensas e contínuas, pode condicionar a elevação do lençol freático e, conseqüentemente, resultar na morte das radículas por asfixia (deficiência de oxigênio na profundidade efetiva do sistema radicular). Quando o índice de mortalidade de radículas torna-se elevado, os ramos permanecem atrofiados, pelo menos, durante um ciclo fenológico, o que resulta em uma redução significativa de produtividade. Diante disso, sugere-se a instalação de drenagem subterrânea em parreirais, exceto em solos de textura arenosa e bastante profunda.

#### **Aspectos fisiológicos e morfológicos visuais da cultura da mangueira**

Durante o período final do estágio de repouso fenológico, a planta deve ser submetida a um estresse hídrico que pode variar entre moderado e severo, dependendo da classe de solo, de modo a favorecer o desenvolvimento da gema reprodutiva e retardar o da gema vegetativa, preparando, assim, a planta para o processo de indução floral. Deste modo, as características visuais da mangueira são importantes para definir o momento exato em que o processo artificial de indução deve ser iniciado. Dentre estas características, destacam-se: a) enrolamento generalizado das folhas com aspecto coriáceo; b) as folhas tornam-se quebradiças quando apertadas com as mãos; c) as gemas apicais tornam-se entumescidas e exsudando látex.

Por outro lado, a ocorrência de estresse hídrico, durante um período de quatro a seis semanas após o pegamento do fruto, pode resultar numa queda exagerada de frutos, bem como numa baixa taxa de crescimento dos mesmos. Isto pode resultar numa redução significativa tanto da produtividade quanto na percentagem de frutos com qualidade mercadológica, que atendam às exigências dos mercados consumidores. Sob condição de estresse

hídrico, em que o conteúdo de umidade no solo permaneça próximo ao ponto de murcha permanente por um período de tempo superior a 30 dias, a folhagem da planta pode apresentar-se parcialmente enrolada e com elevado nível de opacidade, podendo até ocasionar uma queda excessiva de folhas.

#### **Aspectos fisiológicos e morfológicos visuais da cultura da goiabeira**

Sob condições de estresse hídrico, a folha da goiabeira perde a turgidez e tende a enrolar-se, levando a planta a apresentar um aspecto de murchamento generalizado. Quando ocorre o estresse durante o estágio de floração, pode-se observar um índice elevado de queda dos frutos recém-fecundados, mesmo tratando-se da variedade Paluma, que tem como característica baixo índice de pegamento do fruto.

A escassez de água no solo, principalmente durante o primeiro e terceiro estádios de crescimento do fruto, caracterizados como os mais sensíveis, ocasiona uma alta taxa de crescimento. Essa sensibilidade torna-se ainda mais acentuada ao longo do terceiro estágio, quando, então, ocorrem o amolecimento da polpa e a mudança de coloração do fruto, o que pode resultar na obtenção de frutos pequenos e, conseqüentemente, numa redução significativa de produtividade.

#### **Aspectos fisiológicos e morfológicos visuais da cultura da bananeira**

Sob condições de estresse hídrico, a folha cartucho torna-se oblíqua, enquanto as demais tendem a inclinar-se para baixo. Quando o estresse é severo, o pseudocaule quebra-se na sua metade, devido ao peso da folhagem e do cacho. O excesso de água no solo provoca uma asfixia das raízes, trazendo, como conseqüências, a morte das raízes, o amarelecimento generalizado das folhas e uma redução significativa de produtividade e da qualidade pós-colheita do fruto.

#### **Aspectos fisiológicos e morfológicos visuais da cultura do coqueiro**

Sob condições de estresse hídrico, as folhas da planta tendem a tornar-se flácidas, ocorrem baixo índice de frutos por inflorescência, queda acentuada de frutos novos e formato alongado dos frutos que vingaram, o que compromete, de maneira significativa, tanto o número de frutos por área quanto o volume de água por unidade de fruto.

#### **Aspectos fisiológicos e morfológicos visuais da cultura da aceroleira**

Sob condições de estresse hídrico, as folhas da planta tendem a enrolar-se, ocorre queda acentuada de frutos novos e os frutos que vingaram tornam-se pequenos, o que compromete tanto a produtividade quanto a qualidade dos mesmos.



- FREITAS, JUNIOR, E. de; SILVA, E. M. da Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 11, p. 1423-1428, 1984.
- HERKELRATH, W. N.; HAMBURG, S. P.; MURPHY, F. Automatic, real-time monitoring of soil moisture in a remote field area with time-domain reflectometry. **Water Resource Research**, Washington, v. 27, p. 857-864, 1991.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p. (ASCE Manual and Reports on Engineering Practice, 70).
- KLIEWER, W. M.; FREEMAN, B. M.; HOSSOM, C. Effect of irrigation, crop level and potassium on Carignane vines. I. Degree of water stress, and effect on growth and yield. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 34, p. 186-196, 1983.
- KOLENSNIKOV, V. A. Methods of studying of root systems of fruit plants. Moscow, USSR: MIR Publishers, 1971. 269 p.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Física e Meteorologia, 1995. 497 p.
- MATHEUS, M. A. A, ANDERSON, M. M. Pippening in *Vitis vinifera* L.: Response to seasonal water deficits. **American Journal Enology and Viticulture**, Davis, n. 1, v. 40, p. 52-60, 1989.
- MOURA, M. S. B. de. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada**. 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ. 1997, 183 p. il.
- REYNOLDS, A. G. E.; NAYLOR, A. P. Pinot noir and Reselling grapevines respond to water stress duration and soil water-holding capacity. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 12, p. 1505-1510, 1994.
- SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. 2000. 129 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- SMART, R. E.; COOMBE, B. G. Water relations of grapevines. In: **KOLLOWSKI, T. T. (Ed.) Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1983. p. 137-196.
- SOARES, J. M.; COSTA, F. F. da; SANTOS, C. R. dos. Manejo de irrigação em fruteiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. **Manejo de irrigação**. Lavras: UFLA; SBEA, 1998. cap. 4, p. 281-309.
- SOARES, J. M.; COSTA, F. F. da. Irrigação da cultura da videira. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J. M. (Ed.). **A Viticultura no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. p. 147-212.
- SOARES, J. M. **Consumo hídrico da videira Festival sob intermitência de irrigação por gotejamento no Submédio São Francisco**. 2003. 309 p.il. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; BASSOI, L. H.; SILVA, T. G. F. da. Consumo hídrico em bananeira. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro, BA. **Anais...** Juazeiro, BA: ABID, 2002. 1 CD-ROM.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; BASSOI, L. H.; SILVA, T. G. F. da. Consumo hídrico em um cultivo orgânico de videira para uva de mesa. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro, BA. **Anais...** Juazeiro, BA: ABID, 2003. 1 CD-ROM.
- TOMASZ, A.; NESMITH, D. S.; LINDSTROM, O. M. Time-Domain reflectometry for measuring water content of organic growing media in containers. **Hortscience**, Alexandria, v. 29, n. 12, p. 1511-1513, 1994.
- GENUTCHEN, M.T. Van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.



## Anexo I

Tabela 1. Coeficiente de tanque classe A (Kp) para diferentes valores de umidade relativa média do ar e velocidade média do vento a 2m de altura, para diferentes tipos de cobertura vegetal em uma região semi-árida.

Tanque instalado em área gramada ou vegetada					Tanque instalado em área não gramada ou vegetada			
Velocidade do vento (m/s)	Largura da faixa vegetada (m) (*)	Umidade relativa do ar (%)			Largura da faixa não vegetada (m) (*)	Umidade relativa do ar (%)		
		Baixa	Média	Alta		Baixa	Média	Alta
		< 40	40 a 70	> 40		< 40	40 a 70	> 40
<2,03	1	0,55	0,55	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,65	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,70	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,75	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
2,03 a 4,92	1	0,50	0,50	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,60	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,65	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,70	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
4,93 a 8,10	1	0,45	0,45	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,55	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,60	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,65	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
>8,10	1	0,40	0,40	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,45	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,50	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,55	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

(\*) em torno da estação meteorológica ou do tanque de evaporação, principalmente na direção de barlavento.

Fonte: Jensen et al. (1990).

## Anexo II

Tabela 2. Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para videira Itália, ajustados para a região do Submédio São Francisco, Petrolina-PE.

Estádios Fenológicos	Nº de dias após a poda	Kc
Período de brotação	0 a 8	0,59
Desenvolvimento vegetativo	9 a 28	0,60
Pré e plena floração	29 a 40	0,69
1ª fase de crescimento do fruto	41 a 55	1,11
Parada de crescimento do fruto	56 a 80	0,90
2ª fase de crescimento do fruto	81 a 110	1,12
Maturação final do fruto	111 a 130	1,00
Repouso fenológico	131 a 160	0,75

Fonte: Soares et al. (2000).

Tabela 3. Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para videira Festival, Petrolina-PE.

<b>Estádios fenológicos</b>	<b>Nº de dias após a poda</b>	<b>Coeficiente de Cultura (Kc)</b>
<b>Período de brotação</b>	<b>0 a 11</b>	<b>0,59</b>
<b>Desenvolvimento vegetativo</b>	<b>12 a 24</b>	<b>0,61</b>
<b>Pré e plena floração</b>	<b>25 a 34</b>	<b>0,69</b>
<b>1ª fase de crescimento do fruto</b>	<b>35 a 51</b>	<b>1,10</b>
<b>Parada de crescimento do fruto</b>	<b>52 a 65</b>	<b>0,93</b>
<b>2ª fase de crescimento do fruto</b>	<b>66 a 87</b>	<b>1,12</b>
<b>Maturação final do fruto</b>	<b>88 a 94</b>	<b>1,00 a 0,60</b>
<b>Repouso fenológico</b>	<b>95 a 110</b>	<b>0,2 a 0,4</b>

Fonte: Soares (2003).

Tabela 4. Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para videira vinífera, Petrolina-PE.

<b>Estádios fenológicos</b>	<b>Nº de dias após a poda</b>	<b>Coeficiente de Cultura (Kc)</b>
<b>Período de brotação</b>	<b>0 a 8</b>	<b>0,72</b>
<b>Desenvolvimento vegetativo</b>	<b>9 a 28</b>	<b>0,83</b>
<b>Pré e plena floração</b>	<b>29 a 42</b>	<b>0,89</b>
<b>1ª fase de crescimento do fruto</b>	<b>43 a 50</b>	<b>0,94</b>
<b>Parada de crescimento do fruto</b>	<b>51 a 70</b>	<b>0,91</b>
<b>2ª fase de crescimento do fruto</b>	<b>71 a 115</b>	<b>0,94</b>
<b>Maturação final do fruto</b>	<b>116 a 136</b>	<b>0,76</b>
<b>Repouso fenológico</b>	<b>-</b>	<b>0,4</b>

Fonte: Teixeira et al. (2003).

Tabela 5. Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para mangueira Tommy Atkins ajustados para a região do Submédio São Francisco, Petrolina-PE.

<b>Estádios fenológicos</b>	<b>Kc</b>
<b>Período de poda e adubação de fundação</b>	<b>0,45*</b>
<b>Desenvolvimento vegetativo</b>	<b>0,65*</b>
<b>Maturação dos ramos</b>	<b>0,45*</b>
<b>Período de estresse hídrico</b>	<b>0,30*</b>
<b>Início da indução floral</b>	<b>0,20*</b>
<b>Final da indução floral</b>	<b>0,30*</b>
<b>Floração plena</b>	<b>0,44**</b>
<b>Queda de fruto</b>	<b>0,65**</b>
<b>Crescimento do fruto</b>	<b>0,83**</b>
<b>Maturação final do fruto</b>	<b>0,84**</b>

\* Fonte: Soares et al. (1998). \*\*Fonte: Silva (2000)

Tabela 6. Coeficientes de cultura (Kc) para goiabeira Paluma.

<b>Fase fenológica</b>	<b>Ciclo Fenológico (dias)</b>	<b>Coeficiente de cultura (Kc)</b>
<b>Repouso após a colheita</b>	<b>20 a 30</b>	<b>0,40</b>
<b>Brotação e desenvolvimento inicial dos ramos</b>	<b>41</b>	<b>0,78</b>
<b>Desenvolvimento dos ramos e floração</b>	<b>22</b>	<b>0,78</b>
<b>Queda fisiológica dos frutos imaturos</b>	<b>10</b>	<b>0,82</b>
<b>Desenvolvimento dos frutos</b>	<b>60</b>	<b>0,80</b>
<b>Maturação e colheita dos frutos</b>	<b>57</b>	<b>0,78</b>

Fonte: Moura (2001).

Tabela 7 - Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para bananeira Pacovan ajustados para a região do Submédio São Francisco, Petrolina-PE.

<b>Idade – DAP*</b>	<b>Kc</b>	<b>Idade</b>	<b>Kc</b>	<b>Idade</b>	<b>Kc</b>
<b>0 a 15</b>	<b>0,21</b>	<b>211 a 240</b>	<b>0,95</b>	<b>421 a 450</b>	<b>1,27</b>
<b>16 a 30</b>	<b>0,27</b>	<b>241 a 270</b>	<b>1,01</b>	<b>451 a 480</b>	<b>1,29</b>
<b>31 a 60</b>	<b>0,39</b>	<b>271 a 300</b>	<b>1,07</b>	<b>481 a 510</b>	<b>1,30</b>
<b>61 a 90</b>	<b>0,50</b>	<b>301 a 330</b>	<b>1,13</b>	<b>511 a 540</b>	<b>1,30</b>
<b>91 a 120</b>	<b>0,60</b>	<b>331 a 360</b>	<b>1,17</b>	<b>541 a 570</b>	<b>1,28</b>
<b>121 a 150</b>	<b>0,70</b>	<b>360 a 390</b>	<b>1,21</b>	<b>571 a 600</b>	<b>1,27</b>
<b>151 a 180</b>	<b>0,79</b>	<b>391 a 420</b>	<b>1,24</b>	<b>&gt; 601</b>	<b>1,24</b>
<b>181 a 210</b>	<b>0,87</b>				

Fonte:Teixeira et al. (2002). \*DAP – Dias Após o Plantio das mudas.

Tabela 8. Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para coqueiro anão e aceroleira, ajustados para a região do Submédio São Francisco, Petrolina-PE.

<b>Cultura do coqueiro</b>		
<b>Idade da planta</b>	<b>Coeficiente de cultura (Kc)</b>	<b>Observação</b>
<b>Do plantio até quatro meses</b>	<b>0,60 a 0,80</b>	<b>Para cultura mantida no limpo.</b>
<b>De quatro a oito meses</b>	<b>0,80 a 1,00</b>	
<b>De oito a doze meses</b>	<b>1,00</b>	
<b>Maior que doze meses</b>	<b>0,80 a 0,85</b>	

#### **Cultura da aceroleira**

**Obs.: Considerando que até o momento não se dispõe de dados de pesquisa, sugerimos utilizar os valores de Kc para goiabeira, conforme Tabela 6.**

### Anexo III

Tabela 9. Valores de precipitação efetiva mensal calculados para condições específicas, bem como valores de  $f(A_e)$  para diferentes capacidades de armazenamento de água pelo solo na profundidade efetiva da raiz.

Et (mm)	Precipitação mensal (mm)															
	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187	200
<b>Precipitação efetiva média mensal (mm) para D = 75mm</b>																
25	8	16	23	25												
50	8	17	24	32	39	46	50									
75	8	18	26	34	41	48	55	62	69	75						
100	9	18	27	36	44	51	58	66	73	80	87	93	100			
125	9	20	29	38	46	54	62	70	77	84	92	99	106	112	119	125
150	10	21	30	40	48	57	65	73	81	89	97	104	112	119	126	133
175	10	22	32	42	51	60	69	78	86	94	102	110	118	126	133	141
200	11	23	34	44	54	64	73	82	91	99	108	116	124	133	141	149
225	12	24	36	47	57	67	77	87	96	105	114	123	132	140	149	157
250	12	26	38	50	60	71	81	92	101	111	120	130	139	148	157	166
<b>Fator de correção (f) para outros valores de D diferentes de 75 mm</b>																
D - mm	20	25	37,5	50	60	75	100	125	150	175	200					
F(D)	0,73	0,77	0,85	0,92	0,96	1,00	1,03	1,04	1,05	1,07	1,14					

Fonte: USDA, 1970, citado por Jensen et al 1990.

### Anexo IV

Tabela 10. Instruções para a conversão da leitura obtida em um tensiômetro de mercúrio no conteúdo de água no solo.

Data	Cama- da do solo	Leitura cm de Hg	Potencial matricial kPa	Tensão matricial kPa	Umidade volumétrica de saturação	Umidade volumétrica residual	Constante ( $\alpha$ ) (kPa <sup>-1</sup> )	Constante (n)	Constante (m)	Umidade volumétrica atual
					( $\theta_s$ ) (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	( $\theta_r$ ) (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )				( $\theta$ ) (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
				Valor obtido na coluna 4						
Data da leitu- ra	Hora da leitura	Leitura da coluna de mercúrio	Equação 24	Valor obtido na coluna 4 multipli- cado por (-1)	Informações obtidas com base nos pares de dados pontuais da curva de retenção de água ajustada ao modelo matemático de van Genutchen (1980).					Equação 25



Tabela 11. Resumo dos procedimentos utilizados para o cálculo do conteúdo de água no solo com base em dados coletados com tensiômetro de mercúrio, na camada de 0 a 20 cm, em um solo Latossolo Vermelho-Amarelo, sob irrigação por gotejamento, Petrolina – PE.

Data	Cama- da (cm)	Potencial Tensão		$\theta_s$	$\theta_r$	$\alpha$	n	m	$\theta$		
		Leitura (Hg)	matricial (kPa)								
				$(\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$	$(\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$	$(\text{kPa}^{-1})$			$(\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
01/jul											
02/jul	0 a 20	59,80	-69,00	69,00	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,10	
03/jul		63,20	-73,21	73,21	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,09	
04/jul		63,20	-73,21	73,21	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,09	
05/jul		65,40	-75,92	75,92	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,09	
06/jul		14,10	-12,52	12,52	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,13	
07/jul		16,00	-14,87	14,87	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,13	
08/jul											
09/jul		15,70	-14,50	14,50	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,13	
10/jul		13,80	-12,15	12,15	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,14	
11/jul		10,20	-7,70	7,70	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,15	
12/jul		8,10	-5,11	5,11	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,17	
13/jul		6,70	-3,38	3,38	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,20	
14/jul		7,30	-4,12	4,12	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,18	
15/jul											
16/jul		6,90	-3,62	3,62	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,19	
17/jul		7,50	-4,36	4,36	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,18	
18/jul		7,20	-3,99	3,99	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,19	
19/jul		7,50	-4,36	4,36	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,18	
20/jul		7,50	-4,36	4,36	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,18	
21/jul		6,80	-3,50	3,50	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,19	
22/jul											
23/jul		7,80	-4,74	4,74	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,18	
24/jul		8,70	-5,85	5,85	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,17	
25/jul		8,80	-5,97	5,97	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,16	
26/jul		8,40	-5,48	5,48	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,17	
27/jul		7,70	-4,61	4,61	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,18	
28/jul		7,30	-4,12	4,12	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,18	
29/jul											
30/jul		8,10	-5,11	5,11	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,17	
31/jul		8,80	-5,97	5,97	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,16	
01/ago		8,90	-6,10	6,10	0,46	0,07	2,61	1,50	0,34	0,16	

Obs.: Os valores de  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$ , n e m são obtidos com base nos dados determinados em laboratório, correspondentes à curva de retenção, por meio do método do Quadrado Mínimo do Resíduo.

## Anexo V

### Exemplo de aplicação desta metodologia

- a) Período da irrigação: **11 a 16/04/2005**;  
 b) Cultura: **Videira variedade Festival**;  
 c) Espaçamento: **4m x 2m**;  
 d) Estádio fenológico: **Floração**;  
 e) Evapotranspiração de referência do período –  $E_{To} = 3,38 \text{ mm.dia}^{-1}$ ;  
 f) Precipitação pluviométrica (ocorrida no dia 14/04/05) –  $P = 10 \text{ mm}$ ;

Parâmetro do sistema de irrigação por gotejamento: **vazão do gotejador = 2,3 L.h<sup>-1</sup>**; **espaçamento entre gotejadores = 0,50 m**; **eficiência de aplicação –  $E_a = 90\%$** ; **número de intermitências = 2**; **número de unidades de rega por subárea = 3**; **número de plantas por unidade de rega = 417**.

Parâmetros da curva de retenção	Camada do solo (cm)			
	0 – 20	20 – 40	40 – 60	60 – 80
Dados da curva de retenção (laboratório)	Conteúdo de água no solo (%)			
1	0,1892	0,2358	0,2170	0,2560
3	0,1431	0,1774	0,1839	0,2202
6	0,1192	0,1481	0,1657	0,1960
10	0,1084	0,1303	0,1582	0,1778
33	0,0933	0,1054	0,1204	0,1324
80	0,0864	0,0976	0,1109	0,1149
400	0,0744	0,0869	0,0953	0,0988
1000	0,0668	0,0791	0,0872	0,0922
1500	0,0618	0,0748	0,0818	0,0863
$\theta_s \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$	0,3409	1,4784	1,5687	1,4421
$\theta_r \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$	0,1021	0,3727	0,3574	0,4041
Densidade global – $D_g \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$	1,5854	0,1161	0,1155	0,1120
Constante - $\alpha$	0,9666	0,6086	0,5223	0,5397
Constante - $n$	1,5160	1,6480	1,3885	1,4306
Constante – $m = 1 - 1/n$	0,3404	0,3932	0,2798	0,3010

- a) Profundidade efetiva da raiz = **60 cm**;  
 b) Área total a ser irrigada = **1,0 ha**

## Determinação da evapotranspiração de referência – $ET_o$

O valor diário da  $ET_o$  ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) foi obtido no site da Embrapa Semi-Árido, estação agrometeorológica automática de Bebedouro (Petrolina-PE), calculado com a metodologia de Penman-Monteith, em conformidade com o Manual 56 da FAO, referente ao dia 16 de maio de 2005, que foi de  $3,38 \text{ mm.dia}^{-1}$ .

## Determinação da evapotranspiração da cultura – $ET_c$

O valor de  $K_c$  em conformidade com a Tabela 3 (Anexo II) é igual a 0,69.

$$ET_{c_{16}} = K_c.ET_o = 0,69.3,38 = 2,33\text{mm}$$

$$ET_{c_{17}} = K_c.ET_o = 0,69.3,46 = 2,39\text{mm}$$

$$ET_{c_{18}} = K_c.ET_o = 0,69.4,22 = 2,91\text{mm}$$

$$ET_{c_{19}} = K_c.ET_o = 0,69.4,50 = 3,11\text{mm}$$

$$ET_{c_{20}} = K_c.ET_o = 0,69.4,35 = 3,00\text{mm}$$

O cálculo de  $L_b$  pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$L_{b_{16}} = \frac{ET_c - Pe}{Ea} = \frac{2,33 - 0}{0,9} = 2,59\text{mm} \quad L_{b_{17}} = \frac{ET_c - Pe}{Ea} = \frac{2,39 - 0}{0,9} = 2,66\text{mm}$$

$$L_{b_{18}} = \frac{ET_c - Pe}{Ea} = \frac{2,91 - 0}{0,9} = 3,23\text{mm} \quad L_{b_{19}} = \frac{ET_c - Pe}{Ea} = \frac{3,11 - 0}{0,9} = 3,46\text{mm}$$

$$L_{b_{20}} = \frac{ET_c - Pe}{Ea} = \frac{3,00 - 0}{0,9} = 3,33\text{mm} \quad L_{b_{21}} = \frac{ET_c - Pe}{Ea} = \frac{2,42 - 0}{0,9} = 2,69\text{mm}$$

A precipitação efetiva pode ser calculada de acordo com a metodologia proposta por USDA (1970), citado por Jensen et al. (1990), como segue:

$$Pe = f(A_r).[1,25.P^{0,824} - 2,93].[10^{0,000955Et}] \quad (6)$$

$$f(A_r) = 0,53 + 0,0116.A_r - 8,94 \times 10^{-5}.A_r^2 + 2,32.10^{-7}.A_r^3 \quad (7)$$

$$A_r = 10.(q_{cc} - q).Dg.Pr \quad (8)$$

Em termos práticos, poderá ser evitada a fórmula anterior para estimativa da  $Pe$  e adotar: **Quando  $P \leq 5\text{mm}$** , e é decorrente de uma precipitação pluviométrica isolada, considerar  $Pe = 0$ . Ou seja, deve-se realizar a irrigação de forma normal.

## Cálculo do volume de água

O cálculo do volume de água a ser aplicado por planta pode ser calculado pela equação 11, como segue:

$$V_b = L_b.Fc.Ap \Rightarrow V_{b_{16}} = 2,59.0,5.8 = 11L \quad \Rightarrow V_{b_{17}} = 2,66.0,5.8 = 11L$$

$$\Rightarrow V_{b_{18}} = 3,23.0,5.8 = 13L \quad \Rightarrow V_{b_{19}} = 3,46.0,5.8 = 14L$$

$$\Rightarrow V_{b_{20}} = 3,33.0,5.8 = 14L \quad \Rightarrow V_{b_{21}} = 2,69.0,5.8 = 11L$$

O volume de água a ser aplicado, também, pode ser feito com base na unidade de rega, utilizando-se a equação 12, a seguir:

$$V_{bur} = 0,001.V_b.N_p \Rightarrow V_{bur_{16}} = 0,001.11.417 = 4,59\text{m}^3$$

$$V_{bur_{17}} = 0,001.11.417 = 4,59\text{m}^3$$

$$V_{bur_{18}} = 0,001.13.417 = 5,42\text{m}^3$$

$$V_{bur_{19}} = 0,001.14.417 = 5,84\text{m}^3$$

$$V_{bur_{20}} = 0,001.14.417 = 5,84\text{m}^3$$

$$V_{bur_{21}} = 0,001.11.417 = 4,59\text{m}^3$$

## Cálculo do tempo de irrigação – $T_i$

O tempo de irrigação para gotejamento é determinado pela equação 14, como segue:

$$T_i = \frac{V_b}{e.q} \Rightarrow T_{i_{16}} = \frac{11}{4,2,23} = 1,23\text{h} = 1\text{h}14\text{min} \quad \Rightarrow T_{i_{17}} = \frac{11}{4,2,23} = 1,23\text{h} = 1\text{h}14\text{min}$$

$$\Rightarrow T_{i_{18}} = \frac{13}{4,2,23} = 1,46\text{h} = 1\text{h}27\text{min} \quad \Rightarrow T_{i_{19}} = \frac{14}{4,2,23} = 1,57\text{h} = 1\text{h}34\text{min}$$

$$\Rightarrow T_{i_{20}} = \frac{14}{4,2,23} = 1,57\text{h} = 1\text{h}34\text{min} \quad \Rightarrow T_{i_{21}} = \frac{11}{4,2,23} = 1,23\text{h} = 1\text{h}14\text{min}$$

Obs.: No caso de se adotar a intermitência de irrigação, recomendada quando o tempo de irrigação é maior ou igual a 3 horas, o tempo real de irrigação ( $t_r$ ) e o tempo de repouso entre duas irrigações consecutivas ( $t_r$ ) são determinados por meio das equações 15 e 16, respectivamente, como segue:

$$tir = \frac{L_b.Fc.Ap}{n.e.q} = \frac{V_b}{n.e.q} \Rightarrow tir_{16} = \frac{11}{2,4,2,23} = 0,62\text{h} = 37\text{min}$$

$$tr = (m-1)\frac{L_b.Fc.Ap}{n.e.q} = (m-1)\frac{V_b}{n.e.q} \Rightarrow tr_{16} = (3-1)\frac{11}{2,4,2,23} = 1,24\text{h} = 1\text{h}14\text{min}$$

O Quadro 2 apresenta o resumo dos cálculos realizados para o exemplo em questão.

Dados da Fazenda/Lote					Dados Físico-hídricos do solo		
Nome: Campo Experimental de Bebedouro					Cap. de Campo: _____ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>		
Subunidade de rega por subárea: 3					PM Permanente: _____ cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>		
Nº de intermitências: 2					Dens. global: _____ g/cm <sup>3</sup>		
Sist. Irrigação: Gotejamento					Área molh. planta: 2,00 m <sup>2</sup>		
Vazão do emissor: 2,23 L.h <sup>-1</sup>					<b>Dados da cultura</b>		
Intensidade de aplicação: _____ mm.h <sup>1</sup>							
Pressão de serviço: 1 atm (bar)					Cultura: Videira Festival		
Esp. entre emissores: 0,50 m					Espaçamento: 4 m x 2 m		
Eficiência de aplicação: 90 %					Sist. de condução: Latada		
Data/período	Estádio fenol. da cultura	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>c</sub> -	L <sub>b</sub> (mm)	T <sub>i</sub> (hora:minutos)	F <sub>i</sub> (dia)	Observações:
16/05/2005	Floração	3,38	0,69	2,59	1h14min	1	
17/05/2005	Floração	3,46	0,69	2,66	1h14min	1	
18/05/2005	Floração	3,22	0,69	3,23	1h27min	1	
19/05/2005	Floração	4,50	0,69	3,46	1h34min	1	
20/05/2005	Floração	4,35	0,69	3,33	1h34min	1	
21/05/2005	Floração	3,51	0,69	2,69	1h14min	1	

Responsável Técnico:









**Circular  
Técnica, 82**

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Semi-Árido**

Endereço: BR 428, Km 152, C.P. 23

56300-970 Petrolina - PE

Fone: (87) 3862-1711

Fax: (87) 3862-1744

E-mail: sac@cpatsa.embrapa.br

1ª edição

1ª impressão (2006): formato digital.

**Comitê de  
publicações**

**Presidente:** *Natoniel Franklin de Melo.*

**Secretário-Executivo:** *Eduardo Assis Menezes.*

**Membros:** *Carlos Antônio Fernandes Santos,*

*Bárbara França Dantas, Carlos Alberto Tuão Gava,*

*Maria Auxiliadora Coelho de Lima, Gislene Feitosa*

*de B. Gama e Elder Manoel de Moura Rocha.*

**Supervisor editorial:** *Eduardo Assis Menezes.*

**Revisão de texto:** *Eduardo Assis Menezes.*

**Tratamento das ilustrações:** *Nivaldo Torres dos*

*Santos.*

**Editoração eletrônica:** *Nivaldo Torres dos Santos.*

**Expediente**