

Uso da Tensiometria no Manejo da Irrigação



ISSN 1808-9992

Dezembro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Semiárido
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 235

Uso da Tensiometria no Manejo da Irrigação

*Marcos Brandão Braga
Marcelo Calgaro*

Embrapa Semiárido
Petrolina, PE
2010

Esta publicação está disponibilizada no endereço:

<http://www.cpatas.embrapa.br>

Exemplares da mesma podem ser adquiridos na:

Embrapa Semiárido

BR 428, km 152, Zona Rural

Caixa Postal 23 56302-970 Petrolina, PE

Fone: (87) 3862-1711 Fax: (87) 3862-1744

sac@cpatsa.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Maria Auxiliadora Coelho de Lima

Secretário-Executivo: Josir Laine Aparecida Veschi

Membros: Daniel Terao

Tony Jarbas Ferreira Cunha

Magna Soelma Beserra de Moura

Lúcia Helena Piedade Kiill

Marcos Brandão Braga

Gislene Feitosa Brito Gama

Mizael Felix da Silva Neto

Supervisor editorial: Sidinei Anunciação Silva

Revisor de texto: Sidinei Anunciação Silva

Normalização bibliográfica: Sidinei Anunciação Silva

Tratamento de ilustrações: Nivaldo Torres dos Santos

Foto(s) da capa: Marcelo Calgaro

Editoração eletrônica: Nivaldo Torres dos Santos

1ª edição (2010): Formato digital

Todos os direitos reservados.

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

É permitida a reprodução parcial do conteúdo desta publicação desde que citada a fonte.

CIP - Brasil. Catalogação na publicação

Embrapa Semiárido

Braga, Marcos Brandão.

Uso da tensiometria no manejo da irrigação / Marcos Brandão Braga, Marcelo Calgaro. — Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

28 p.: il. (Embrapa Semiárido. Documentos, 235).

ISSN 1808-9992.

1. Irrigação - manejo. 2. Equipamentos agrícolas. 3. Tensiômetro. I. Braga, Marcos Brandão. II. Calgaro, Marcelo. III. Título.

CDD 631.587

© Embrapa 2010

Autores

Marcos Brandão Braga

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem,
pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.
marcos.braga@cpatsa.embrapa.br

Marcelo Calgato

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem,
pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.
marcelo.calgato@cpatsa.embrapa.br

Apresentação

A produção de alimentos, na atual conjuntura, precisa ser sustentável, pois os cenários apontados por especialistas são preocupantes. Escassez de água e mudanças climáticas, por exemplo, são alguns dos mais discutidos assuntos no meio científico. Estas discussões são ainda mais preocupantes quanto se considera um dos maiores desafios da humanidade: aumentar a produção de alimentos sem degradar o meio ambiente. Neste contexto, os recursos hídricos têm grande destaque.

A produção de alimentos sedimentada no binômio responsabilidade social e ambiental constitui-se em um dos maiores desafios da atualidade e, quando se analisa as questões relacionadas aos recursos hídricos, tais desafios ganham outras proporções, pois a água, como alertam alguns cientistas e ambientalistas, é um recurso natural que corre o risco de escassez.

Para sanar alguns problemas relacionados aos recursos hídricos, muitos estudos vêm sendo realizados. Captação e armazenamento de água de chuva e manejo de irrigação são exemplos de medidas que vêm sendo adotadas para otimizar o uso dos recursos hídricos.

Este trabalho trata do emprego da tensiometria, técnica que possibilita o monitoramento do uso da água na irrigação e, por isso, subsidia a tomada de decisão de quando e quanto irrigar. Uma técnica essencial frente aos problemas que comprometem a qualidade e a quantidade da água, recurso natural essencial à sobrevivência do homem e de todos os ecossistemas terrestres.

Natoniel Franklin de Melo
Chefe-Geral da Embrapa Semiárido

Sumário

Introdução	6
Tipos de tensiômetros	7
Princípio de funcionamento	15
Aplicação no manejo de irrigação	15
Fórmulas	19
Definição de quando irrigar	20
Exemplo de aplicação	23
Cálculo de lâmina líquida de irrigação	25
Considerações finais	27
Referências	28

Uso da Tensiometria no Manejo da Irrigação

Marcos Brandão Braga
Marcelo Calgato

Introdução

A água é elemento essencial ao desenvolvimento de todos os seres vivos, e sua maior ou menor disponibilidade dá ao meio ambiente as características que os distinguem. Em regiões áridas e semiáridas a quantidade e a qualidade da água são os fatores mais limitantes ao desenvolvimento econômico e social. Em regiões com regime hídrico deficiente, normalmente, para que haja uma produção econômica das culturas, exige-se a disponibilização de água de maneira artificial, ou seja, via irrigação. Essa disponibilização deve ser feita de maneira que não haja excesso nem escassez de água aos cultivos, uma vez que o excesso, além de aumentar os custos de produção, aumenta as chances de salinização, de perdas de nutrientes por lixiviação e de contaminação do lençol freático, além de causar asfixia nas raízes das culturas, por causa da baixa oxigenação. Já a escassez provoca perdas de produção pelo aumento do estresse hídrico.

A irrigação é uma tecnologia que tem como objetivo levar água aos cultivos de maneira eficiente, econômica e ambientalmente sustentável. Dentro desse contexto, os métodos de irrigação podem ser divididos entre os pressurizados e não pressurizados. Os pressurizados são aqueles em que a água é conduzida dentro de tubulações fechadas, a uma pressão maior que a atmosférica, enquanto nos não pressurizados predomina a pressão atmosférica e em sua maioria não dispõe de tubulações fechadas, ou se possui, dentro a pressão atmosférica é maior. Os sistemas de irrigação

pressurizados são basicamente os por aspersão, pivô-central, autopropelido e os localizados; enquanto os não pressurizados são os por superfície (sulcos, inundação e por faixa). Com o aumento dos custos para obter água em quantidade e qualidade, os cientistas criaram tecnologias de irrigação que permitiram aumentar a eficiência do uso da água, tendo como representante dessas novas tecnologias os sistemas de irrigação localizada. A área implantada com irrigação localizada vem crescendo anualmente em diversas regiões do mundo. No Brasil, em certas regiões, há incentivos governamentais para implantação de sistemas de irrigação mais eficientes.

A engenharia de irrigação está bastante avançada e tem disponibilizado equipamentos cada vez mais eficientes na condução e aplicação de água, porém, essa tecnologia será ineficaz caso não se maneje corretamente a quantidade de água aplicada. Na maioria das áreas irrigadas, produtores e técnicos têm problemas com o manejo da irrigação, ou seja, definir quando e quanto de água será aplicado pelos sistemas de irrigação. A tomada de decisão pode ser feita usando-se várias técnicas, porém, as mais corriqueiras são: uso de estimativas da evapotranspiração com frequência de irrigação fixa/variável, e ou pela determinação do teor de água no solo com frequência de irrigação fixa/variável. Na determinação do teor de água no solo existem os métodos diretos e indiretos. Dentre os métodos indiretos temos o tensiômetro que é um aparelho que mede a tensão de água ou potencial matricial do solo, que pode ser convertido para teor de água no solo. Sendo assim, podemos, com o auxílio deste aparelho, determinar o teor de água atual no solo, na profundidade de interesse e, conseqüentemente, a quantidade de água armazenada no perfil do solo.

A técnica da tensiometria possibilita o monitoramento do uso correto das práticas de irrigação e, também, na tomada de decisão de quando e quanto irrigar.

Tipos de Tensiômetros

No mercado, existem vários tipos de tensiômetros (Figura 1), desde os mais sofisticados, com leitura automática dos valores de tensão de água no solo, até os mais simples com leitura direta dada pelo vacuômetro

analógico. Entre os tensiômetros, os mais usados são: tensiômetros de punção, tensiômetros com vacuômetro e os de mercúrio. O tensiômetro é composto basicamente de cápsula porosa de cerâmica, tubo de PVC de aproximadamente 1/2 polegada, e outras conexões para assegurar a inserção do vacuômetro ou da borracha siliconizada (Figura 2). O tensiômetro de mercúrio já foi muito usado em pesquisa. Embora forneça valores mais acurados da tensão, está em desuso pela dificuldade no seu manuseio, aquisição e uso mercúrio, pois é um metal de alto risco de contaminação ambiental e humana. Atualmente, os tensiômetros de punção vêm sendo os mais usados por causa da facilidade de manuseio. Para a leitura da tensão de água no solo, em tensiômetros de punção, utiliza-se o tensímetro que pode ser digital ou analógico (Figura 3).

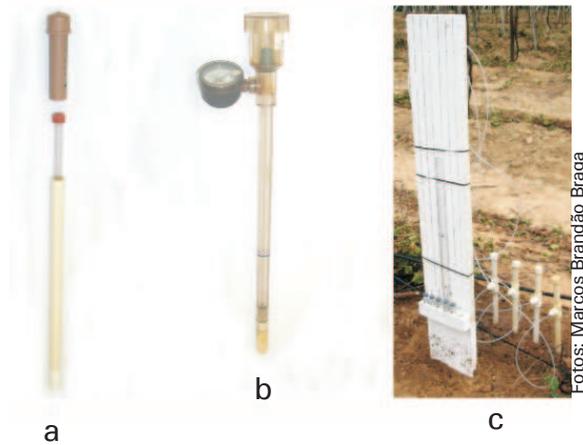


Figura 1. Tipos de tensiômetro: a) punção; b) vacuômetro; c) coluna de mercúrio.

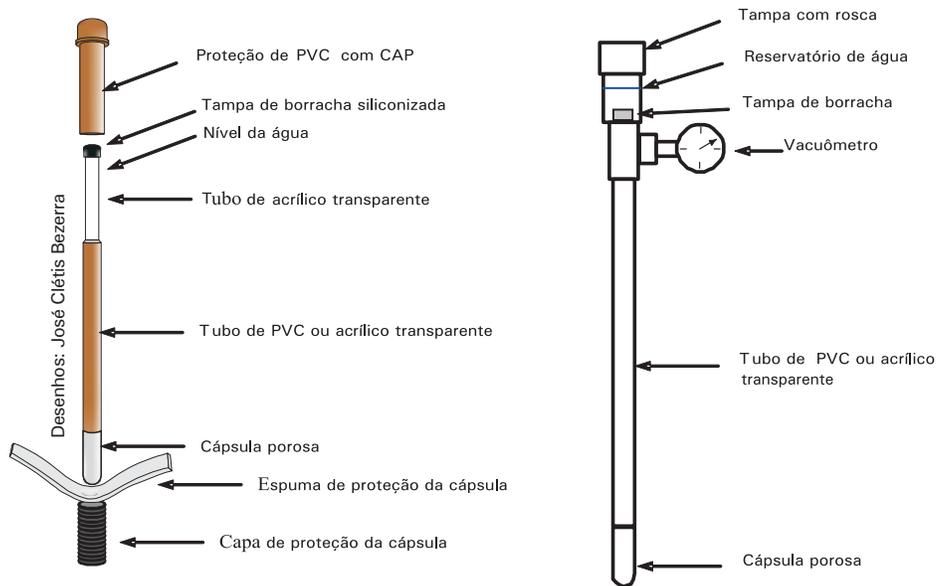


Figura 2. Partes componentes do tensiômetro de punção (a) e de vacuômetro (b).



Figura 3. Tipos de tensímetro: a) digital; b) analógico.

Manejo e Instalação

O tensiômetro deve ser instalado na área de abrangência do sistema radicular da cultura, na profundidade efetiva do sistema radicular, na linha de plantio ou próximo ao tronco da planta (Figuras 4 e 5). A profundidade de instalação depende da profundidade efetiva das raízes da cultura que está sendo irrigada. Essa profundidade corresponde, normalmente, até onde se concentra 80% das raízes da cultura. As distâncias de instalação vão depender, também, do tipo de irrigação que está sendo usado. Em irrigação localizada deve-se atentar para instalar os sensores de umidade dentro da área molhada, em gotejamento dentro do bulbo molhado. Para aspersão e microaspersão próximo à distância onde a lâmina média é aplicada, após teste de distribuição de precipitação dos aspersores e microaspersores. Normalmente, essa distância encontra-se dentro da metade do raio de alcance, porém, deve-se atentar para a distância do tronco da planta (15 cm a 20 cm – mínimo), abrangência do bulbo molhado e, também, quanto à passagem de máquinas, não instalar próximo a passagens dos pneus, pois essas áreas podem sofrer influência da compactação.

Em irrigação por sulcos, os tensiômetros devem ser instalados a uma distância de 1/3 do comprimento dos sulcos e no final dos mesmos, tendo-se o cuidado de não colocar próximo ao canal do sulco. Caso a irrigação por sulco seja total, isto é, a faixa molhada formada entre dois sulcos se encontram, os tensiômetros devem ser instalados entre os dois sulcos.

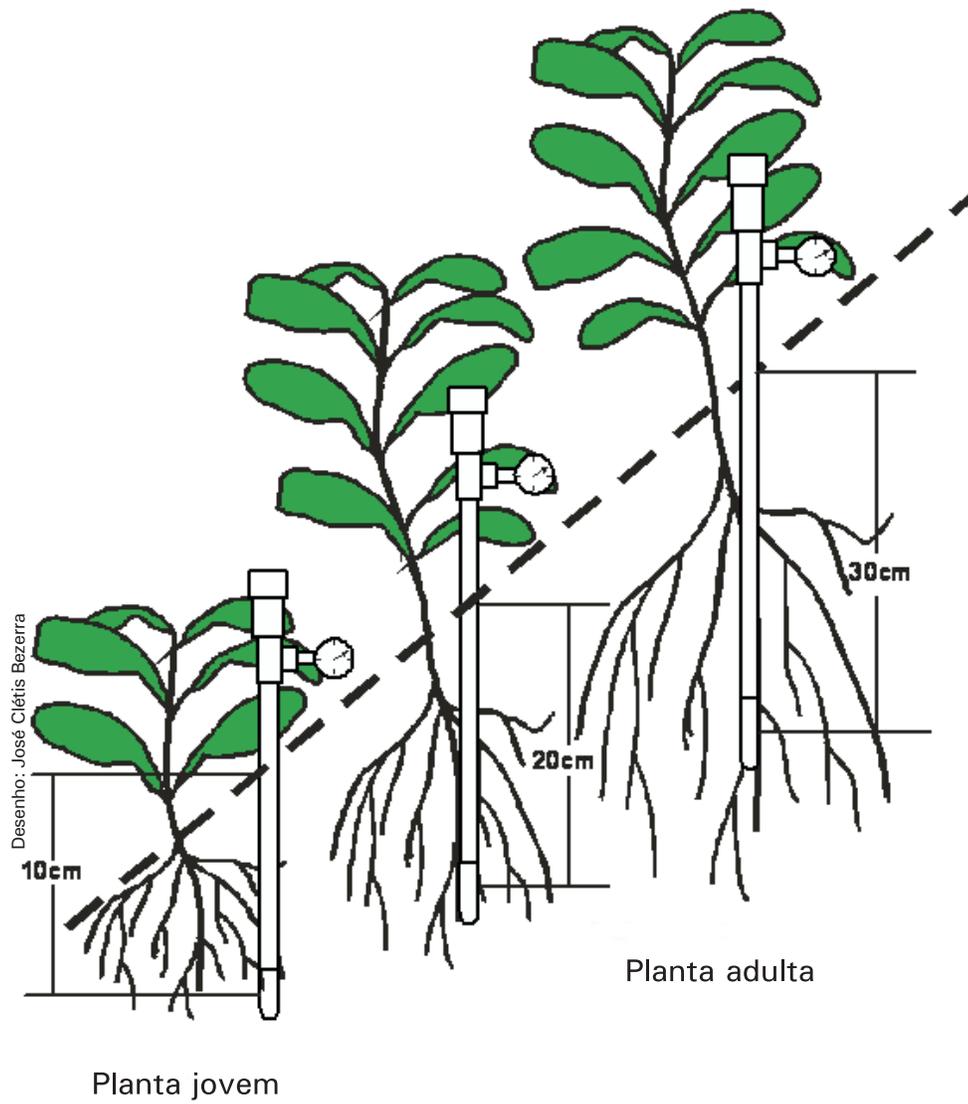


Figura 4. Instalação de tensiômetros ao longo do estágio de desenvolvimento da planta.

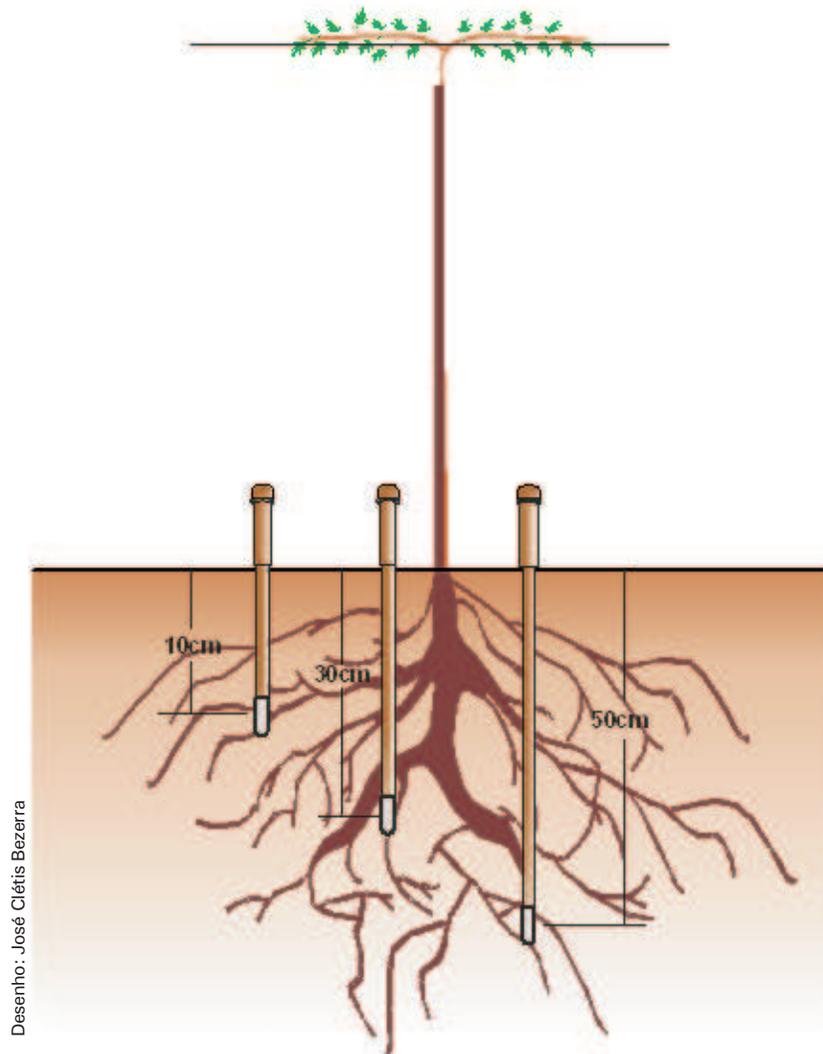


Figura 5. Instalação de tensiômetros no perfil do solo, dentro da área de abrangência do sistema radicular da videira.

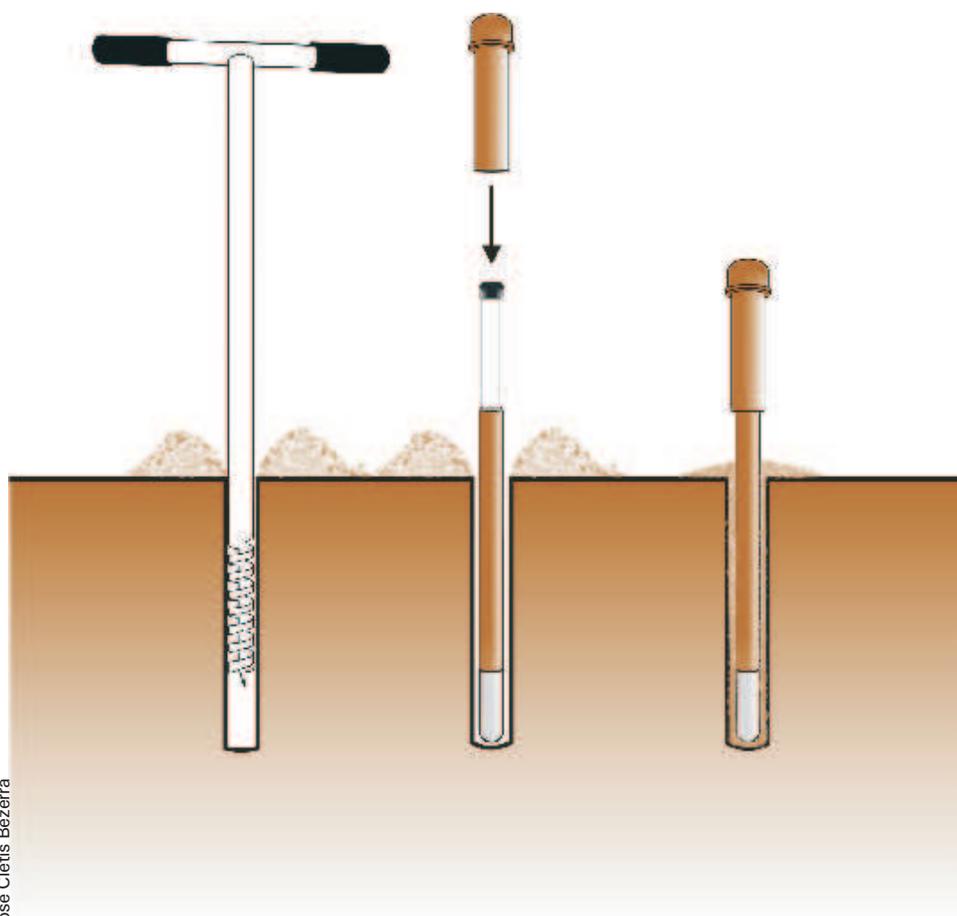
Deve-se ter o cuidado de saturar a cápsula porosa por pelo menos 24 horas antes da instalação, para expulsar o ar que está preso nos poros das cápsulas de cerâmica.

É importante que o solo esteja o mais úmido possível, quando da sua instalação, a fim de que haja bom contato necessário entre a cápsula porosa e o solo. Após instalar o tensiômetro no solo, deve-se preencher todo o tubo de PVC com água destilada e retirar todo o ar do sistema pela extremidade aberta fluxando com o auxílio de uma piceta, quando possível. Caso não possua água destilada, ferver a água por no mínimo 5 minutos, com intenção de expulsar o máximo de oxigênio da água, deixar resfriar e colocar dentro de um recipiente de plástico, vagarosamente. Podem ser utilizados recipientes plásticos de refrigerante, devidamente lavados. No caso de tensiômetro de punção deve-se tomar cuidado para que a agulha não fique mergulhada na água durante o procedimento de leitura.

Os passos a serem seguidos na instalação adequada de tensiômetros são (Figura 6):

- a) Com auxílio de um tubo de aço galvanizado, com uma das extremidades em bisel, cavar um furo no solo até a profundidade desejada.
- b) Preparar uma lama fluida com o solo retirado da profundidade de instalação e colocar no fundo do buraco, prática usada para que haja maior contato solo/cápsula porosa. Esta prática é mais recomendável para solos de textura argilosa uma vez que, nesta condição, há dificuldade para se estabelecer o adequado contato entre a cápsula porosa e solo.
- c) Introduzir o tensiômetro no buraco, tomando o cuidado para não torcê-lo mesmo.
- d) Colocar solo ao redor do tubo compactando fracamente, ou colocar um anel de plástico ou de borracha para evitar que a água (irrigação ou chuva) esorra entre a parede do tubo e solo, alcançando a cápsula porosa.
- e) Preencher os tensiômetros com água destilada ou fervida até o nível adequado.

Caso o tensiômetro necessite constantemente de reabastecimento, retirá-lo e substituir por outro, esse, provavelmente, está com algum problema de vazamento de água ou na cápsula porosa, que pode estar com rachaduras.



Desenho: José Clévis Bezerra

Figura 6. Sequência de etapas de instalação do tensiômetro.

Princípio de funcionamento

Quando a camada do perfil de solo está seca, a água de dentro do tubo passa para o solo através da cápsula porosa, criando vácuo dentro do tensiômetro, ou seja, como o potencial de água no solo está menor que o potencial na cápsula, a água passa da cápsula para o solo, procurando o equilíbrio de energia potencial. Esse vácuo pode ser medido com auxílio de vacuômetros e ou tensímetros. Entretanto, se o potencial de água no solo estiver alto, ou seja, muito úmido, a água pode entrar no tubo de PVC pela cápsula, promovendo a redução do vácuo existente.

Os tensiômetros normalmente funcionam até tensões próximas de 0,85 atm ou aproximadamente 850 cm de coluna de água. Após este limite, a água existente na interface (sólido-líquido) muda do estado líquido para gasoso, fazendo com que o equipamento perca a escorva (vácuo) e para de funcionar adequadamente.

Aplicação no manejo de irrigação

Para se estimar o teor de água no solo através de tensiômetros, faz-se necessário determinar a curva de retenção ou curva característica de água no solo (CCAS), que pode variar de acordo as características físicas do solo (Figura 7), onde solos com textura argilosa e arenosa possuem diferentes quantidades de água armazenada para uma mesma tensão de água no solo (potencial matricial) (BERNARDO et. al., 2006).

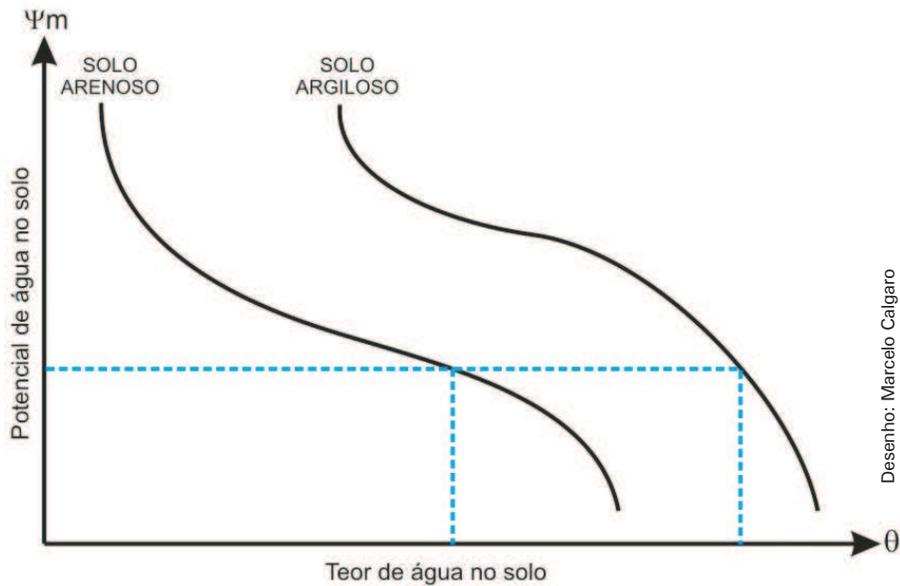


Figura 7. Capacidade de armazenamento de água em solos com dois tipos de textura.

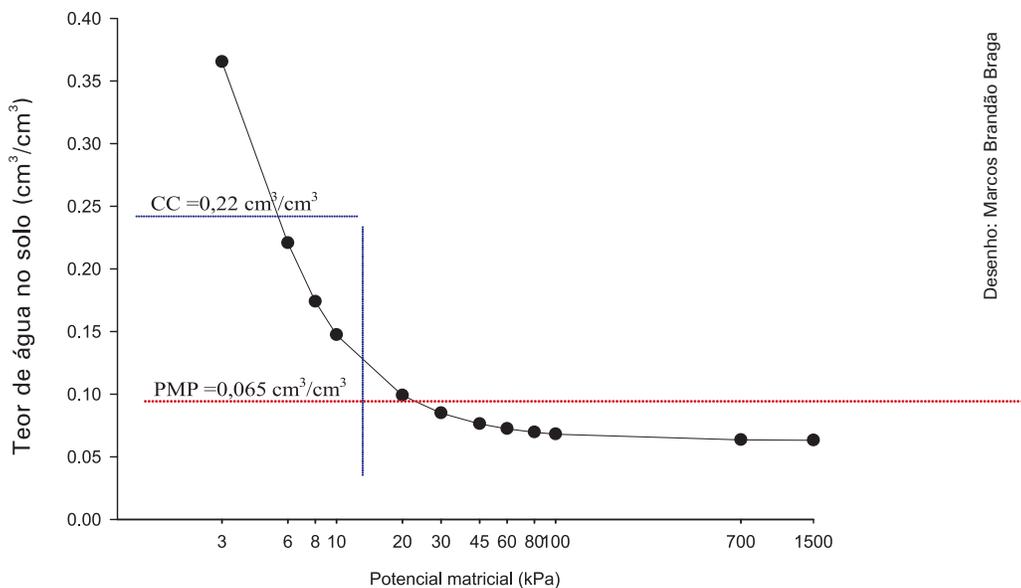
A CCAS normalmente é feita em laboratórios de solos e consiste basicamente na retirada de amostras de solo ao longo do perfil até a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. Normalmente, essas amostras são indeformadas. As amostras são retiradas com auxílio de cilindros de aço zincado com diâmetro e espessura conhecidas, porém, quando o solo tem textura arenosa, pode-se usar amostras deformadas que o erro será desprezível por causa da baixa quantidade de argila e a falta de estrutura (agregados).

As amostras de solo devem ser colocadas para saturar por um período mínimo de 24 horas, seguindo para uso nas metodologias da placa de Richards ou de centrífugas. De posse dos dados obtidos da relação do teor de água retido no solo a uma pressão exercida, normalmente com valores de 6 kPa, 10 kPa, 30 kPa, 60 kPa, 100 kPa, 500 kPa e 1500 kPa, faz-se o ajuste da CCAS (Figura 8), que pode ser feito com o auxílio de programas computacionais, como as diversas planilhas eletrônicas, e usando-se habitualmente, as funções matemáticas: potencial e exponencial

(GENUCHTEN, 1980). Entretanto, muitas vezes essas funções não ajustam adequadamente alguns dados. Porém, o programa possui diversas funções matemáticas que possibilitam o melhor ajuste dos dados, gerando curvas e equações mais representativas da realidade (DOURADO NETO et. al., 1990).

Com a curva característica determinada, basta obter o potencial matricial (leitura tensiômetro) e depois, com o auxílio do gráfico ou do modelo matemático ajustado, determinar-se o teor de água atual do solo e, conseqüentemente, o armazenamento.

Na maioria dos casos, os laboratórios brasileiros, emitem o resultado da curva de retenção relacionando a tensão adotada com o teor de água no solo em base de peso (g água / g solo; kg água / kg solo), que pode ser facilmente transformada em base de volume (cm^3 água / cm^3 solo), pois dá a ideia de volume de água gasto. Sabendo-se a massa específica do solo ou densidade aparente (D_p). Bastando, para tanto, multiplicar o valor pela D_p do local ou da profundidade do solo analisado.



Desenho: Marcos Brandão Braga

Figura 8. Curva de retenção de água no solo, em papel semilogarítmico do Latossolo Vermelho Amarelo - Embrapa Semiárido - Bebedouro, Petrolina, PE.

Conhecendo-se a capacidade de retenção de água no solo (CAD) e o armazenamento atual de água, pode-se determinar a necessidade ou não de irrigação (LIBARDI, 2004). Em solos de textura arenosa, a capacidade de campo (CC) teórica (Figura 8), máximo teor de água no solo retido contra a força gravitacional, está próxima à tensão de água no solo de 10 kPa podendo, em muitos casos, chegar a 6 kPa. Em solos de textura argilosa, próximo de 33 kPa. O ponto mínimo de água, considerado no dimensionamento de sistemas e manejo de irrigação, é aquele retido contra uma força de 1.500 kPa e chamado ponto de murcha permanente (PMP) teórico (Figura 8). Neste ponto, a planta não mais consegue absorver água mesmo quando irrigada.

Por causa da capacidade de leitura dos tensiômetros, teoricamente, até 100 kPa, em solos com textura arenosa os tensiômetros conseguem monitorar cerca de 70% da capacidade de água disponível, porém, em solos argilosos, somente 40% da CAD pode ser monitorada.

Normalmente, para hortaliças limita-se o mínimo de esgotamento da água disponível de cerca de 30% em relação à capacidade de campo, já para culturas frutíferas, forrageiras e cana-de-açúcar, 50%; para as culturas produtoras de grãos secos, o limite pode chegar até 60% (Figura 9).

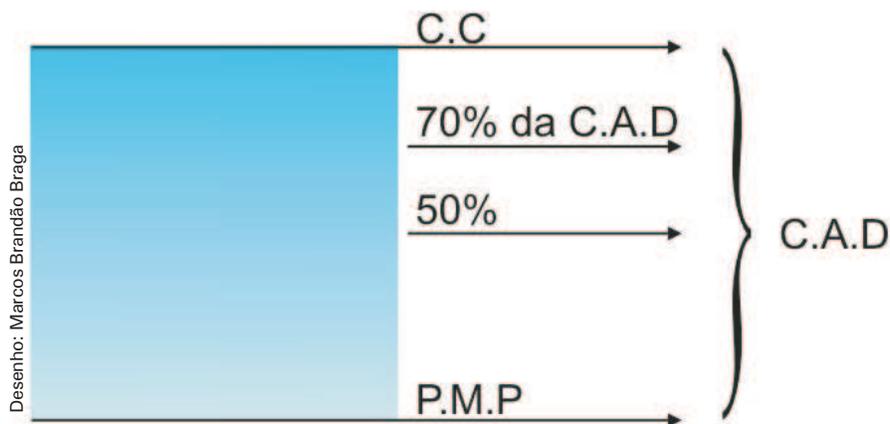


Figura 9. Limites mínimos de água disponível no solo.

Fórmulas

Uma fórmula geral para calcular o potencial de água no solo pode ser apresentada da seguinte forma:

$$Y_m = \pm (L - hc - hs) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: L é a leitura no tensímetro ou do vacuômetro na unidade do aparelho, hc é a profundidade de instalação dos tensiômetros e hs é a altura entre o aparelho da leitura e o solo. Deve-se atentar que o potencial matricial de água no solo (Y_m) é uma força de tensão, ou seja, seu valor é negativo. O termo \pm da equação 1 está relacionado com os valores de L. Caso esse seja negativo, os sinais da equação 1 devem ser multiplicados pelo termo positivo (+) e, caso seja positivo, os sinais dos termos da equação 1 devem ser multiplicados pelo sinal negativo (-).

Dependendo do tipo de tensiômetro, a equação para determinar o potencial matricial do solo pode ser rearranjada. Para tensiômetros com vacuômetro mecânico, o valor de Y_m pode ser determinado pela equação 2:

$$Y_m = -L + 0,098 c \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: L é a leitura do manômetro em cbar ou kPa, e c é o comprimento do tensiômetro (distância do meio da cápsula porosa até o vacuômetro) em centímetros; o decimal 0,098 é fator de ajuste de unidades. O Y_m é obtido em kPa (quilo Pascal). Já para o tensiômetro com manômetro digital (tensímetro), o valor de Y_m , em kPa, pode ser obtido pela equação 3:

$$Y_m = L + 0,098 c \quad (\text{Equação 3})$$

Para leitura em cbar ou kPa e comprimento em cm, a equação 3 é válida para tensímetro de leitura negativa, porém, no mercado há tensímetro com leitura positiva e, para esse caso, pode-se usar perfeitamente a equação 2. O outro caso seria os tensiômetros com coluna de mercúrio. Neste caso, devem-se corrigir os valores da leitura em relação ao peso específico do mercúrio (13,6 kg/L), porém, como esse tipo de tensiômetro

não será detalhado porque o mercúrio é um metal contaminante do meio ambiente e um produto cancerígeno. Dependendo da unidade da tensão de água no solo apresentada e a da curva de retenção de água no solo, às vezes se faz necessária a transformação destas para a compreensão, tendo-se assim uma relação aproximada entre as mesmas como segue:
 $1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar} = 76 \text{ mmHg} = 1033 \text{ cmca} = 10,33 \text{ mca} = 101354,8 \text{ Pa} = 101,35 \text{ kPa} = 0,1013 \text{ MPa}$.

Definição de quando irrigar

O uso de tensiômetros é necessário para indicar o momento de irrigar, que é definido pelo limite mínimo de água disponível no solo e/ou limite de tensão de água retida no solo que, a partir deste, o rendimento da cultura será afetado. Esse limite varia entre e dentro das espécies cultivadas e deve ser definido em pesquisa de campo (Tabela 1).

A força de tensão de água limite (F_{tal}) é a força máxima que uma planta faz para retirar a quantidade de água necessária ao seu adequado desenvolvimento (KLAR, 1991). Uma vez que se determinou a tensão mínima de água no solo ou F_{tal} para uma dada espécie (cultivar), essa pode ser extrapolada para outros tipos de solo, uma vez que a força necessária para retirar água do solo será a mesma, o que normalmente varia é a quantidade de água retida, pois isso tem correlação direta com a textura, estrutura e teor de matéria orgânica presente no solo. Existem diversos trabalhos com esses limites de tensão.

Tabela 1. Valores críticos mínimos de tensão de água do solo para diversas culturas em região com períodos de altas (valores a esquerda) e baixas evapotranspiração (valores a direita).

Culturas	Tensão de água no solo (bar)	Culturas	Tensão de água no solo (bar)
Alfafa	- 0,5 a - 1,0	Melão	- 0,3 a - 2,0
Banana	- 0,3 a - 1,5	Cebola	- 0,35 a - 0,45
Feijões	- 0,6 a - 1,0	Ervilha	- 0,3 a - 0,8
Repolho	- 0,6 a - 1,0	Batata	- 0,3 a - 0,7
Cenoura	- 0,5 a - 0,7	Arroz	saturação/próximo
Citrus	- 0,5 a - 1,0	Sorgo	- 0,6 a - 1,3
Algodão	- 1,0 a - 2,0	Soja	- 0,5 a - 1,0
Cucurbitáceas	- 1,0 a - 2,0	Morango	- 0,2 a - 0,5
Pl. Ornamentais	- 0,2 a - 0,5	Beterraba	- 0,5 a - 0,8
Videira	- 0,4 a - 1,0	Cana de açúcar	- 0,6 a - 1,5
Pastagens	- 0,4 a - 1,0	Tomate	- 0,4 a - 1,0
Alface	- 0,4 a - 0,6	Trigo	- 0,4 a - 1,0
Milho	- 0,5 a - 1,0	Mangueira	- 0,5 a - 1,0

Fonte: Klar (1991).

Não obstante, em muitas das faixas de tensão de água descritas na tabela acima os tensiômetros não irão funcionar adequadamente (ex. algodão). Nestes casos, pode-se adotar a tensão de água no solo correspondente ao consumo de 60% da água disponível (cultivos grãos secos), valendo da mesma forma 30% da água disponível (AD). Para hortaliças, frutíferas e pastagens pode-se adotar o limite de 50%. Se mesmo assim ficar fora da faixa de leitura, pode-se adotar valores menores, pois, os da tabela são os limites a partir dos quais as plantas começam a sentir estresse por falta d'água.

Definição de quanto irrigar

Em decorrência da importância do cálculo correto da quantidade de água que se deseja aplicar a um determinado cultivo, há a necessidade de explicitarmos os conceitos de água armazenada no solo e de lâmina de irrigação (KLAR, 1991).

Para se calcular a quantidade de água armazenada (A_{rm}) no perfil de um solo, faz uso da equação 4:

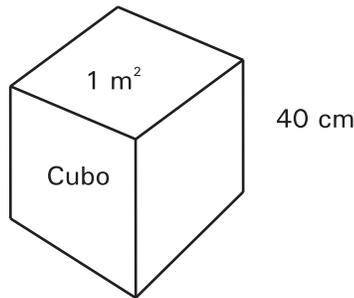
$$A_{rm} = U_{bv} \times h \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: A_{rm} = armazenamento (cm^3/cm^2), cm. U_{bv} = umidade base volume (cm^3/cm^3), decimal, h = profundidade de molhamento (cm).

Exemplo: Supondo um teor de umidade de $0,20 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ numa camada de profundidade de solo de 40 cm, quanto de água está armazenado no solo?

* $A_{rm} = 0,20 \times 40 = 8 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$, ou seja, a cada cm^2 de área superficial terá 8 cm^3 de água até a profundidade de 40 cm ou 8 cm de altura de água, igual a 80 mm.

Se imaginarmos um cubo de solo com área igual a 1 m^2 e 40 cm de profundidade teremos um volume total (V_t) = $1 \text{ m}^2 \times 0,4 \text{ m} = 0,4 \text{ m}^3$. Quanto seria a quantidade de água armazenada?



$$V_{\text{água}} = 1 \text{ m}^2 \times 0,08 \text{ m} = 0,08 \text{ m}^3 \text{ ou } 80 \text{ l/m}^2$$

Obs.: Precipitou $1 \text{ mm} = 1 \text{ l/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$

Essa definição se dá pelo cálculo da lâmina líquida de irrigação que pode ser feita com a equação 5:

$$Li = \frac{(CC - U_a)}{10} \times D_a \times Z \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: L_i é a lâmina de irrigação, em mm, CC é o teor de água na capacidade de campo (%), U_a teor de água atual (%) obtida indiretamente através da leitura dos tensiômetros e da CCAS. A D_a é a massa específica do solo ou a densidade aparente (g/cm^3 ou kg/m^3), e Z é a profundidade do sistema radicular da cultura (cm) que depende do seu estágio de desenvolvimento.

Caso os valores de CC e U_a estejam em percentagem em base de volume, o termo D_a é dispensável. Se usar a profundidade (Z) em milímetros não há a necessidade de se dividir os termos da equação 4 por 10.

Recomenda-se fazer os cálculos da lâmina de irrigação por camada, e quando for aplicar o volume de água, somar a demanda de cada camada, considerando-se a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura irrigada. Uma cultura como meloeiro do transplantio até 15 dias (fase vegetativa) 80% do sistema radicular encontra-se em até 20 cm de profundidade do solo (profundidade efetiva). Já na fase de floração e frutificação, essa profundidade aproxima-se de 40 cm, dependendo do solo. Portanto, os cálculos da lâmina de irrigação devem ser efetuados considerando-se este aspecto. Através dessa equação, sempre que se efetuar a irrigação deve-se repor a "caixa" de armazenamento do solo até a capacidade de campo (CC), porém, caso se objetive repor 80% da água, deve-se trocar o termo CC na equação 3 por $U_{80\%}$ (teor de água a 80% da CC).

Exemplo de aplicação

Considerando-se um cultivo de meloeiro com tensiômetro instalado a 20 cm de profundidade, o tensiômetro digital a 10 cm de altura do solo apresentou uma leitura de 11 kPa. Qual seria o potencial matricial de água no solo e quanto de água existe nesse solo no momento?

a) Usando a equação 1.

$$h_c = 20 \text{ cm} = 2 \text{ kPa}$$

$$h_s = 10 \text{ cm} = 1 \text{ kPa}$$

$$Y_m = -(L - h_c - h_s) = -L + h_c + h_s = -11 + 2 + 1 = -8 \text{ kPa}$$

b) Usando a equação 2.

$$Y_m = -L + 0,098 c = -11 + 0,098 \times 30 = -11 + 2,94 = -8 \text{ kPa}$$

De posse do valor da tensão de água no solo (- 8 kPa) pode-se, através da curva característica de água no solo ou da equação de ajuste, obter-se o teor de água no solo naquele instante. Nota-se que o valor de potencial calculado é negativo, mas na CCAS apresentada está positiva porque na maioria das vezes se trabalha em módulo do valores de potencial para facilitar os cálculos. Nesse exemplo, observando-se a figura 10, nota-se que o valor de $Y_m = -8 \text{ kPa}$ corresponde ao teor de água no solo que é de 12% ou $0,12 \text{ cm}^3$ de água / cm^3 de solo, linha vermelha. A linha azul seria a CC desse solo, que se aproxima de 22% ou $0,22 \text{ cm}^3$ de água / cm^3 de solo.

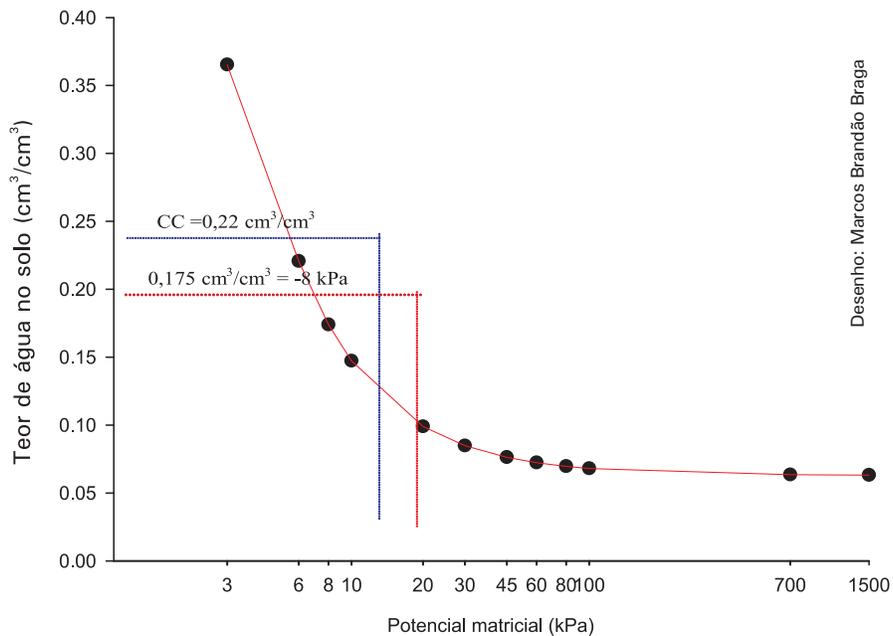


Figura 10. Curva de retenção de água no solo (Latossolo Vermelho Amarelo - Embrapa Semiárido – Bebedouro, Petrolina, PE).

Cálculo da lâmina líquida de irrigação

Considerando-se que o valor medido de $Y_m = -8$ kPa que corresponde a $0,175 \text{ cm}^3/\text{cm}^3 = 17,5\%$, e a capacidade de campo (CC) é igual a $0,22 \text{ cm}^3/\text{cm}^3 = 22\%$, o teor de água no solo é dado em base de volume. A equação 4 não necessita do termo D_a , ficando:

$$Li = \frac{(CC - U_a)}{10} \times Z = \frac{(22 - 17,5)}{10} \times 20 = 9 \text{ mm}$$

A lâmina de irrigação a ser aplicada deve ser a lâmina bruta (L_b), que leva em consideração a eficiência do sistema de irrigação (E_i). Na literatura, existem valores mínimos de E_i de acordo o sistema de irrigação usado. De maneira geral, para sistemas de irrigação por aspersão E_i é 75%, enquanto para localizada esse valor seria E_i é 90% (SOARES, et al., 2006). Recomenda-se que o valor de E_i deva ser determinado no sistema de irrigação já instalado, utilizando-se a metodologia de determinação é diferente para cada tipo de sistema de irrigação utilizado.

Segundo o exemplo anterior e supondo-se um cultivo de melancia com o emprego de sistema convencional de irrigação por aspersão, E_i igual a 75% (0,75 em decimal), vazão média (Q_m) dos aspersores igual a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (10.000 L/h), espaçamento entrelinha (E_l) e entre aspersores (E_a) é de 18 m; qual a L_b e o Tempo de irrigação?

$$L_b = \frac{Li}{E_i} = \frac{9}{0,75} = 12 \text{ mm}$$

$$I_p = \frac{Q_m}{E_a \times E_l} = \frac{10000}{18 \times 18} = 30,86 \text{ mm/h}$$

$$T_i = \frac{L_b}{I_p} = \frac{12}{30,86} \cong 0,39 \text{ horas} \cong 24 \text{ minutos}$$

Observa-se que neste sistema de irrigação por aspersão, a área molhada é total, ou seja, irriga-se todo solo.

Seguindo o mesmo exemplo, supondo que o sistema de irrigação seja o localizado com gotejadores espaçados de 0,5 m e linhas de 2,0 m, largura da faixa molhada (L_{fm}) de 1 m, cultivo de melão no espaçamento de 2,0 m x 0,25 m ($E_{lp} \times E_p$). A $E_i = 95\%$ e vazão média (Q_m) dos gotejadores igual a 2,0 L/h. Qual a L_b e o tempo de irrigação?

Neste sistema de irrigação, como não se irriga toda a área do solo, deve-se calcular a percentagem de área molhada (P_{am}) que pode ser dada pela razão da área molhada (A_m) e área ocupada por planta (A_{cp}). Pode-se usar, também, a percentagem de área coberta (P_{ac}) ou sombreada (P_{as}) que é dada pela razão de área sombreada e a área ocupada pela planta (A_{cp}). Quando a P_{ac} for maior que P_{am} , deve-se usar o conceito de P_{ac} na equação para se calcular a L_b . O valor de L_b deve ser multiplicado pelo valor da P_{am} ou P_{ac} , em decimal, para se obter a L_b a ser aplicada em irrigação localizada.

Calculando:

$$A_m = L_{fm} \times E_p = 1,0 \times 0,25 = 0,25 \text{ m}^2 \quad A_{cp} = E_{lp} \times E_p = 2,0 \times 0,25 = 0,50 \text{ m}^2$$

$$P_{am} = \frac{A_m}{A_{cp}} \times 100 = \frac{0,25}{0,50} \times 100 = 50\% \quad L_b = \frac{Li}{E_i} \times \frac{P_{am}}{100} = \frac{9,0}{0,95} \times \frac{50}{100} \cong 4,74 \text{ mm}$$

$$Ti = \frac{L_b \times A_m}{n \times Q_m} = \frac{4,74 \times 0,25}{0,5 \times 2,0} \cong 1,19 \text{ horas} \cong 71 \text{ minutos}$$

Onde: n é o número de gotejador por planta. No exemplo, um gotejador irriga duas plantas.

Dessa maneira, pode ser feita a tabela de manejo de irrigação considerando a tensão de água no solo dada pelo tensiômetro e o tempo em que o sistema ficará ligado. Caso o solo tenha diversas camadas no perfil do solo (CRAS diferentes), deve-se calcular o tempo de irrigação por camada, e aplicar o tempo do somatório de todas as camadas.

Tabela 2. Relação tensão de água no solo versus tempo de irrigação.

Leitura do tensiômetro (L) (kPa)	Tempo de Irrigação (Ti) (min)
8	52
9	58
10	65
11	71
--	--
--	--
15	97
16	103

Obs: Dados calculados do exemplo de irrigação localizada.

Considerações Finais

O manejo da irrigação usando tensiômetro é uma prática que demanda treinamento, técnica e bastante prática com os equipamentos. A grande variabilidade espacial das características físicas dos solos pode causar grandes erros na estimativa da lâmina de irrigação. Atualmente, recomenda-se a utilização das metodologias conjugadas de manejo de irrigação via clima, ou seja, uso de dados agrometeorológicos para estimar a demanda hídrica da cultura, conjuntamente com a tensiometria para definir o momento da irrigação (quando irrigar).

O uso de tensiômetro também possibilita, depois de uma precipitação (chuva) se definir, quando voltar a irrigar, além de poder efetuar o balanço hídrico do solo.

O uso da técnica de tensiometria pode auxiliar o técnico e o irrigante na tomada de decisão, seja de quando ou quanto irrigar, possibilitando-se, assim, o uso mais eficiente da água aplicada, com diminuição de perda de nutrientes por lixiviação, aumento de produção e economia de energia.

Referências

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2006. 625 p.

DOURADO NETO, D.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. **Curva de retenção de água no solo**: algoritmo em QuickBasic para estimativa dos parâmetros empíricos do modelo de GENUCHTEN. Piracicaba: EDUSP, 1990. 34 p.

GENUCHTEN, M. T. H. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 892-8, 1980.

KLAR, A. E. **Irrigação**: frequência e quantidade. São Paulo: Nobel, 1991. v. 1. 156 p.

LIBARDI, P. L. Medida dos potenciais da água no solo. In: _____. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: [EDUSP], 2004. cap.6, p. 121-145.

SOARES, J. M.; COSTA F. F. da; NASCIMENTO, T. **Recomendações básicas para o manejo de água em fruteiras**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 2006. 28 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 82).



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



CGPE 9141