

DOCUMENTOS

ISSN 0102-0021

Numero 61

Março, 1996

MANEJO DA IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DA MANGUEIRA

CPAC
586m
1996
k. 2
LV-2004.01066

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA - MAARA

Manejo da irrigação e
1996 LV-2004.01066



29172-2

pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Agropecuária dos Cerrados - CPAC

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA - MAARA



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC

DOCUMENTOS
Número 61

ISSN 0102-0021
Março, 1996

MANEJO DA IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DA MANGUEIRA

Euzebio Medrado da Silva
Alberto Carlos de Queiroz Pinto
Juscelino Antônio de Azevedo

Planaltina, DF
1996

Unidade: AI - Sede
Valor aquisição: _____
Data aquisição: _____
N.º N. Fiscal/Fatura: _____
Fornecedor: _____
N.º OOS: _____
Origem: Doacões
N.º Registro: 1066/09 exz

Copyright © EMBRAPA-1996
EMBRAPA-CPAC. Documentos, 61

Exemplares desta publicação podem ser solicitados ao:
CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS - CPAC
BR 020 - km 18 - Rodovia Brasília/Fortaleza - Caixa Postal 08223
CEP 73301-970 - Planaltina, DF
Telefone: (061) 389-1171 FAX: (061) 389-2953

Tiragem: 600 exemplares

Editor: Comitê de Publicações

Darci Tércio Gomes, Dijalma Barbosa da Silva, Edson Lobato
(Presidente), Eline Alves de Moraes, Jeanne Christine Claessen de
Miranda, José Carlos Sousa e Silva, Leocadia Maria Rodrigues Me-
cenas (Secretária-Executiva), Maria Tereza Machado Teles Walter.

Revisão técnica: José Aloisio Alves Moreira (EMBRAPA-CNPAF)
Lucilene Maria de Andrade (EMBRAPA-CPAC)
Victor Hugo Vargas Ramos (EMBRAPA-CPAC)

Normalização bibliográfica: Maria Alice Bianchi
Composição e arte-final: Jaime Arbués e Jussara Flores
Coordenação editorial: Leocadia M.R. Mecenas

SILVA, E.M. da; PINTO, A.C. de Q.; AZEVEDO, J.A. de. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 77p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 61).

1. Irrigação - Manejo - Manga. 2. Manga - Irrigação - Método. 3. *Mangifera indica*. I. PINTO, A.C. de Q. II. AZEVEDO, J.A. III. EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). IV. Título. V. Série.

CDD - 631.7

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
1. MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO	7
1.1 Gotejamento	8
1.2 Microaspersão	18
1.3 Aspersão	22
1.4 Outros métodos	24
2. MANEJO DA ÁGUA	24
2.1 Critérios para o manejo de água	25
2.1.1 <i>Medidas climáticas</i>	26
2.1.2 <i>Medidas na planta</i>	27
2.1.3 <i>Medidas no solo</i>	30
2.2 Tensiometria	31
2.2.1 <i>Funcionamento</i>	32
2.2.2 <i>Instalação</i>	34
2.2.3 <i>Localização</i>	35
2.3 Lâmina de irrigação	38
2.4 Estratégias de aplicação de água	42
3. FERTIRRIGAÇÃO	47
3.1 Métodos de aplicação	50
3.1.1 <i>Gravidade</i>	51
3.1.2 <i>Pressão diferencial</i>	52
3.1.3 <i>Pressão positiva</i>	55
3.1.4 <i>Pressão negativa</i>	57

3.2 Possibilidades de produtos.....	58
3.2.1 <i>Solubilidade.....</i>	61
3.2.2 <i>Compatibilidade.....</i>	62
3.2.3 <i>Potencial de corrosão.....</i>	62
3.3 Procedimentos para o cálculo.....	64
3.3.1 <i>Concentração variada durante a aplicação.....</i>	66
3.3.2 <i>Concentração constante durante a aplicação.....</i>	68
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

MANEJO DA IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DA MANGUEIRA¹

Euzebio Medrado da Silva²
Alberto Carlos de Queiroz Pinto²
Juscelino Antônio de Azevedo³

INTRODUÇÃO

A mangueira é uma planta, cultivada comercialmente em áreas tropicais e subtropicais, com características típicas das fruteiras conhecidas como sempre-verdes, apresentando folhas moderadamente espessas e verde escura com capacidade para manter um alto grau de turgor foliar durante um período prolongado de seca (Whiley, 1993) e, por isso, é considerada uma das fruteiras mais tolerantes à seca (Farré & Hermoso, 1993). No entanto, esta tolerância é relativa e depende da severidade do estresse hídrico, da demanda evapotranspirativa determinada pelo ambiente e da quantidade de água armazenada no solo. De uma maneira geral, a mangueira, como uma espécie do trópico úmido, necessita de suplementação de água, na forma de irrigação, em períodos de seca prolongada para um crescimento normal e produção adequada. Em zonas úmidas, como na região norte do Brasil, onde normalmente as chuvas são suficientes para o cultivo da mangueira na maior parte do tempo, a necessidade de irrigação é limitada aos períodos de estiagem prolongada (Larson & Schaffer, 1989). Em zonas semi-áridas, a exemplo de grande parte do nordeste brasileiro, as chuvas são inadequadas e

¹ Documento apresentado no curso sobre produção comercial de manga, realizado em Fortaleza-CE, no período de 23 a 25/08/94.

² Eng. Agr., PhD., Pesquisador EMBRAPA-CPAC, 73.301-970 - Planaltina, DF, CP 08223.

³ Eng. Agr., Dr. Pesquisador EMBRAPA-CPAC.

o uso da irrigação é essencial para o desenvolvimento e produção da cultura da mangueira (Choudhury & Soares, 1992).

Sob condições de seca prolongada, o estresse acentuado de água pode ter um efeito negativo no desenvolvimento e na produção e qualidade dos frutos de culturas como a mangueira. Neste caso, a imposição de estresse hídrico geralmente retarda o crescimento do tronco de plantas jovens, paraliza o desenvolvimento vegetativo e diminui o tamanho dos frutos (Hilgeman & Reuther, 1967 e Whiley, 1993). No caso da mangueira cultivada nas condições de clima tropical, a imposição do estresse hídrico tem sido considerada efetiva na indução floral (Tatt, 1976; Chacko, 1986 e Whiley, 1993). Nestas condições, a aplicação de água, através da irrigação, representa uma alternativa que pode ser utilizada tanto para garantir o desenvolvimento da cultura como para estabelecer as condições fisiológicas de estresse hídrico adequadas para indução floral. Neste aspecto, o manejo do suprimento de água, realizado através da irrigação, passa a ter um papel importante no controle da época de produção da cultura com benefícios diretos na rentabilidade do agricultor.

Ao se adotar a irrigação, surgem as indagações relativas aos métodos mais adequados e as formas mais apropriadas de manejo da água para atender as necessidades hídricas da cultura para seu desenvolvimento e produção. A escolha do método de irrigação é uma questão ligada às condições topográficas, disponibilidade do recurso hídrico, qualidade da água, eficiência de irrigação, economicidade do sistema utilizado, entre outros (Scaloppi, 1986). Uma vez implantado o sistema de irrigação, a questão seguinte é a definição e operacionalização da estratégia de manejo da irrigação, que indique o momento e a quantidade de água a ser aplicada, que resulte no desenvolvimento e produção, em níveis adequados, para a cultura implantada. Por outro lado, se o sistema de

irrigação adotado for pressurizado, abre-se a possibilidade para veiculação de produtos químicos, juntamente com a água de irrigação, com benefícios diretos na redução dos custos de mão-de-obra e na melhoria da eficiência de adubação.

Este trabalho tem por objetivo abordar alguns aspectos técnicos sobre a aplicabilidade da irrigação à cultura da manga, considerando as possibilidades de utilização de métodos específicos empregados para irrigação de fruteiras. Nesta abordagem não será tratado nenhum aspecto relativo ao dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação, limitando-se apenas à discussão das características de cada método, no que diz respeito a sua adequação para a cultura da mangueira. Adicionalmente, serão enfocadas algumas alternativas de manejo de água, aplicáveis às fases de desenvolvimento e produção da cultura, utilizando o conceito de estresse de água no solo como medida indireta do estado hídrico na planta. O conceito de estresse de água no solo será também utilizado para estimar as necessidades hídricas da cultura nas suas diferentes fases de desenvolvimento. As possibilidades e principais técnicas de aplicação de produtos químicos, incluindo fórmulas para o cálculo das taxas de injeção, aplicáveis à irrigação pressurizada, serão também abordadas.

1. MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

O sucesso no emprego da tecnologia de irrigação depende essencialmente da adequabilidade do método escolhido e da estratégia de manejo de água adotada ao longo do ciclo da cultura. Em princípio, qualquer um dos métodos tradicionais de irrigação como: gotejamento, microaspersão, aspersão com laterais fixas ou móveis, sulcos e bacias de inundação pode ser utilizado para aplicação de água para a cultura da

mangueira. A escolha de um destes métodos depende de **fatores técnicos** como, características de infiltração, disponibilidade de água no solo, topográfica do terreno, potencial hídrico disponível em termos da qualidade, quantidade e de sua posição em relação a área cultivada, salinidade e altura do lençol freático, características climáticas em relação à precipitação, velocidade do vento, temperatura, radiação solar e umidade relativa; de **fatores econômicos** como, custos de implantação, operação e manutenção do sistema de irrigação, valor do produto, rentabilidade do sistema produtivo, disponibilidade de capital e mão-de-obra; de **fatores humanos** como, qualidade de mão-de-obra, facilidade operacional dos equipamentos, tradição, nível educacional e preferência do produtor (Thompson et al. 1993 e Scaloppi, 1986). Por exemplo, a adoção de um método de irrigação não compatível com as condições de solo e de cultivo da propriedade poderá ser tão prejudicial para o produtor quanto a implantação de um sistema de irrigação subdimensionado.

1.1 Gotejamento

A irrigação por gotejamento consiste na aplicação relativamente freqüente de água, na forma de pequenas vazões procurando umedecer somente o volume de solo explorado pelas raízes da planta. Esta estratégia de aplicação localizada reduz a evaporação da água da superfície do solo, limita a infestação de ervas daninhas e economiza água por não irrigar áreas não cultivadas, principalmente, quando a fruteira é jovem. Por outro lado, a aplicação freqüente de água garante a manutenção de um potencial de água elevado no solo reduzindo os efeitos negativos da concentração de sais na área de absorção do sistema radicular, fato este especialmente importante em locais, onde a água disponível possui uma carga de sais elevada.

O sistema de distribuição de água envolve uma série de componentes essenciais para o funcionamento adequado das irrigações. Os gotejadores, as linhas laterais de irrigação, as linhas de distribuição, a tubulação principal, o sistema de filtragem, as válvulas, o sistema moto-bomba e a unidade de fertilização são componentes importantes em um sistema de irrigação por gotejamento (Figura 1). O sistema de filtragem, normalmente constituído de filtro de tela e filtro de areia, é fundamental para o sucesso operacional das irrigações, uma vez que os orifícios de saída nos gotejadores são relativamente pequenos e podem ser facilmente obstruídos por materiais em suspensão não filtrados.

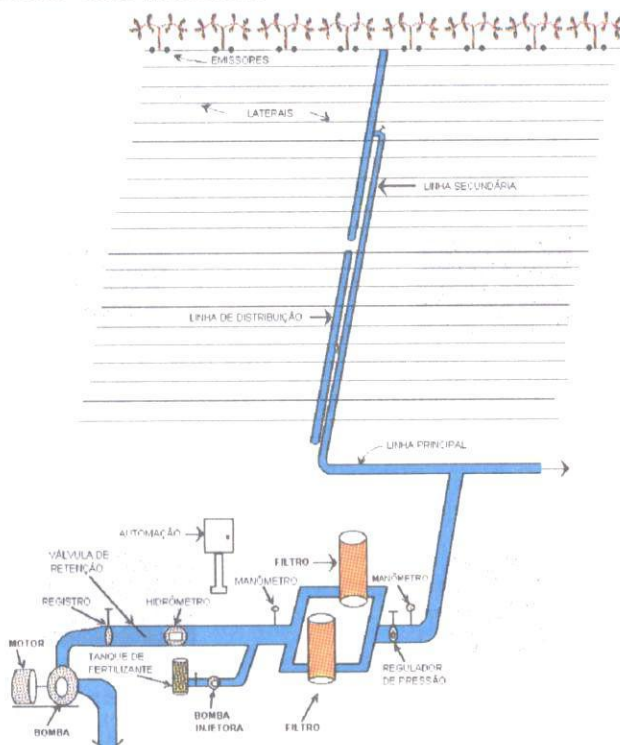


FIG. 1. Instalação típica de um sistema de irrigação por gotejamento.

Fonte: Adaptado de Bucks & Davis (1986).

O gotejamento feito de maneira pontual forma volumes individuais de solo molhado cuja magnitude depende da textura e estrutura do solo e da vazão aplicada pelo emissor. Quando os emissores estão próximos um do outro, de modo que os bulbos molhados se toquem, há a formação de uma faixa molhada contínua, a qual é apropriada para irrigação de cultivos com espaçamento reduzido entre plantas. No caso da manga, os emissores do gotejamento são dispostos ao redor da planta, procurando cobrir o máximo de área recomendável para a cultura. A distribuição dos pontos de emissão de água ao redor da planta é feita em várias configurações dependendo do requerimento de água da planta e das características de redistribuição de água do solo. A Figura 2 ilustra algumas possibilidades de localização de gotejadores usualmente utilizados neste tipo de irrigação (James, 1988).

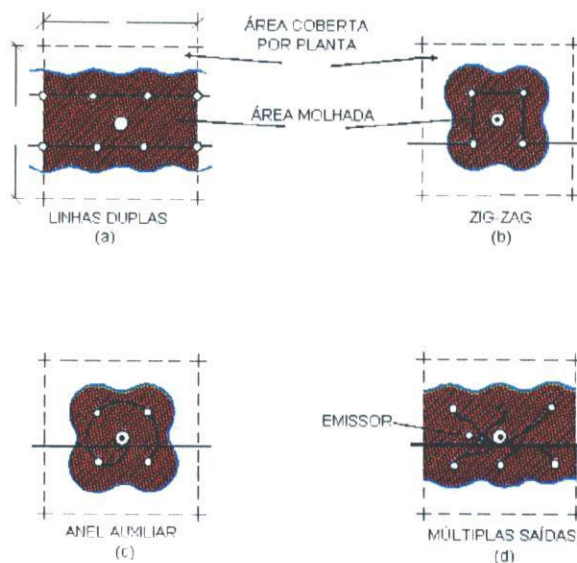


FIG. 2. Esquema de distribuição de gotejadores e a área molhada correspondente.

Fonte: James (1988)

Em geral, recomenda-se adotar o esquema de uma lateral de irrigação para cada fileira de planta, principalmente quando se tratar de culturas de espaçamento amplo, como é o caso da cultura da manga. O uso de linhas duplas (Figura 2a) é muitas vezes utilizado em sistemas de plantio onde o espaçamento entre plantas é reduzido e se deseja formar uma faixa molhada mais ampla. As outras alternativas, zig-zag (Figura 2b), anel auxiliar (Figura 2c) e múltiplas saídas (Figura 2d) são todas possíveis de utilização em culturas de espaçamento amplo, sendo que o número de saídas e sua disposição ao redor da planta depende basicamente das características de absorção de água pelo solo e do requerimento de água da planta. Os esquemas das Figuras 2c e 2d são adequados para a cultura da mangueira, permitindo facilmente o ajuste do número de saídas e sua localização ao redor da planta, durante sua fase de desenvolvimento vegetativo. Contudo, o aumento do número de saídas, normalmente, só é possível quando previsto originalmente no dimensionamento do sistema de irrigação.

Um outro fator importante, ao nível do dimensionamento do sistema de irrigação por gotejamento, é a relação entre a área efetivamente molhada pelos emissores e a área coberta pela planta. Esta relação, também conhecida como percentagem de área molhada P , normalmente varia entre 30 e 100%, dependendo da cultura e da idade da planta. Seu valor tende ser maior para culturas com espaçamento reduzido ou em pomares com alto grau de cobertura da área plantada. Por exemplo, o valor de P tende para 100% em cultivos espaçados com menos de 1,8 m de distância (James, 1988). No caso de plantas cultivadas em espaçamento amplo, como é o caso da mangueira, o valor de P situa-se na faixa de 30 a 60%, dependendo do percentual da área que deverá ser mantida seca entre as fileiras da planta.

Estudos realizados por Soares et al. (sd.a), em pomares

de mangueira, irrigados por gotejamento, na região do Submédio São Francisco, mostraram que a percentagem de área molhada, na profundidade de 20 cm, estava entre 14 e 30%. Estes autores, acompanhando os índices de produtividade desde a planta jovem, verificaram que os pomares irrigados com área molhada de 30% apresentavam incrementos de produtividade à medida que a planta tornava-se adulta. No entanto, pomares irrigados com área molhada entre 15% e 18% tiveram seu crescimento paralizado e sua produtividade reduzida, quando as plantas atingiram a idade média de 3 a 4 anos.

A percentagem de área molhada, ainda ao nível de projeto, pode ser avaliada a partir de estimativas do volume de solo irrigado por cada gotejador. O volume de solo molhado, também conhecido por bulbo molhado, depende das características físico-hídricas do solo e da vazão do gotejador. Um dos métodos mais simples para avaliação do bulbo molhado utiliza a figura de um hemisfério para representar a distribuição da água na área de influência do gotejador. Este modelo assume, também, que o conteúdo de água do solo, antes da irrigação, é uniforme dentro do bulbo molhado. Assumindo estas condições e utilizando o princípio da conservação da massa é possível relacionar o volume de água aplicado pelo emissor (V_e) com a frente de molhamento do bulbo (P_b), utilizando a seguinte equação (Warrick, 1986):

$$V_e = \left(\frac{2}{3}\right) \pi (\theta_0 - \theta_i) P_b^3 \quad (1)$$

onde θ_i e θ_0 representam, respectivamente, o conteúdo inicial e final da água no solo, expresso em (cm^3 de água/ cm^3 de solo). A diferença ($\theta_0 - \theta_i$) representa a fração do volume de solo ocupada com o volume de água que foi adicionado pelo

emissor. Se a frente de molhamento do bulbo (P_b) for expressa em cm , o volume de água equivalente será dado em cm^3 .

Para uma melhor compreensão sobre o uso da equação (1) na estimativa da profundidade de molhamento do solo produzido pelo gotejador, considere a seguinte aplicação:

Exercício 1. Determine o comprimento do bulbo molhado, de formato hemisférico, estabelecido por um emissor com vazão de 4 l/h , operando durante 8 horas , sabendo que o conteúdo de água do volume de solo irrigado aumentou em 10% .

Solução: O volume total de água aplicado, por gotejador, durante 8 horas , é de 32 l ou seja $32\,000 \text{ cm}^3$. Assim sendo, o comprimento do bulbo molhado pode ser calculado da seguinte forma:

$$P_b = \left[\left(\frac{3}{2} \right) (10) \frac{32.000}{\pi} \right]^{\frac{1}{3}}$$
$$= 53,46 \text{ cm}$$

Vale ressaltar que a aplicação deste modelo assume que a infiltração lateral da água no solo é exatamente igual a infiltração vertical. Isto na realidade não acontece exatamente assim, pois a frente de molhamento, na direção vertical, é maior do que na direção horizontal por causa da força gravitacional. Esta diferença será mais acentuada quanto maior for o tempo de aplicação da água.

Neste aspecto, considera-se relevante destacar, a título de exemplo, os dados de campo obtidos por Roth (1982), citado por Warrick (1986), relativos à avaliação do formato de vários bulbos molhados, estabelecidos em um solo arenoso. Este autor analisou os resultados de 22 perfis de bulbos mo-

lhados estabelecidos, sob condições de campo, em função do tempo de irrigação e da vazão dos gotejadores. A Figura 3 ilustra um dos casos analisados, resultante da aplicação de água de um gotejador, operando com uma vazão de 4 l/h durante 72 horas de irrigação.

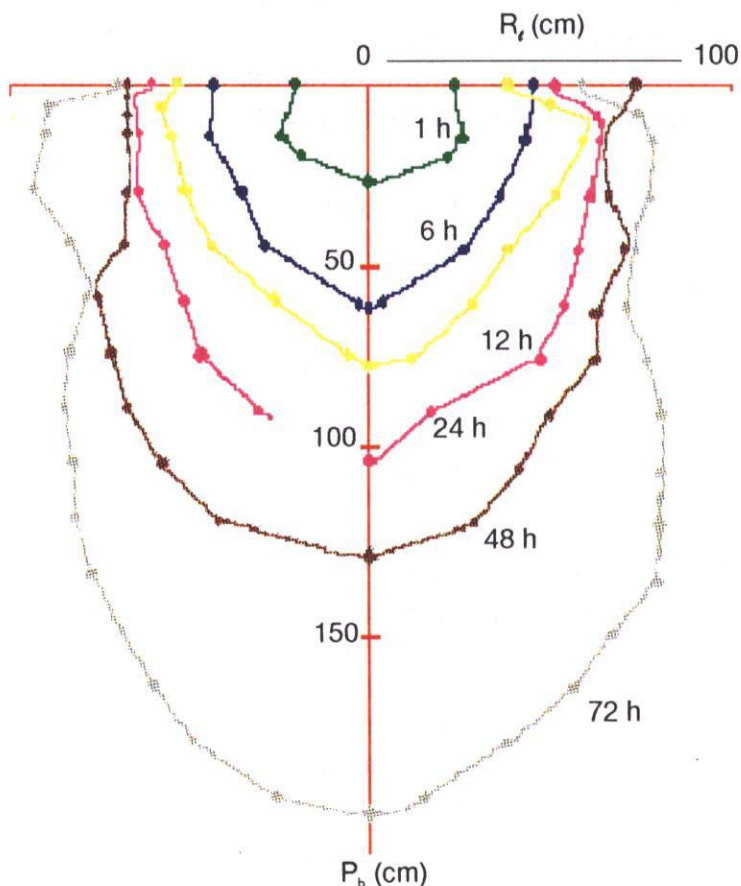


FIG. 3. Perfis de umedecimento em um solo arenoso determinado por um gotejador com vazão de 4 l/h .

Fonte: Warrick (1986).

Utilizando os resultados destes perfis, Roth (1982), citado por Warrick (1986), desenvolveu a seguinte expressão, relacionando o volume do bulbo molhado com o volume de água aplicado:

$$V_b = (7,83) (V_e)^{0,994} \quad (2)$$

Neste caso, V_b é o volume do bulbo molhado e V_e é o volume total de água aplicada, ambos expressos em *litros*. Por outro lado, a relação entre o raio de movimentação lateral da água na superfície (R_l) e a profundidade de umedecimento do bulbo molhado (P_b), expressos em *cm*, foi também estabelecida através da seguinte expressão:

$$R_l = (2,90) (P_b)^{0,652} \quad (3)$$

Adicionalmente, Warrick (1986) demonstrou que o raio de movimentação lateral (R_l), expresso em *cm*, pode ser relacionado com o volume total de água aplicada pelo emissor (V_e), expresso em *litros*, da seguinte forma:

$$R_l = 18,5 V_e^{0,331} (1 - 0,0292 R_l^{0,534}) \quad (4)$$

Observe que o valor de R_l nesta equação não está explícito e, portanto, sua solução não é direta. Uma das maneiras possíveis para a obtenção do valor de R_l é a utilização de um processo de tentativa e erro, no qual, partindo-se de um valor inicial de V_e são realizadas sucessivas aproximações até a determinação final de R_l .

O problema seguinte demonstra a aplicação da equação (4) no cálculo do raio de movimentação lateral de água de um gotejador e utiliza o resultado para determinar a área molhada e definir o número de gotejadores necessários para irrigação de uma planta.

Exercício 2: Considere um sistema de irrigação por gotejamento, projetado para irrigar um pomar de Tommy Atkins com *oito anos* de idade, implantado com um espaçamento de $9 \times 10 \text{ m}$ em um solo arenoso. A projeção média de copa das árvores possui $3,8 \text{ m}$ de raio e a distribuição de água por planta é feita utilizando quatro gotejadores, com uma capacidade de vazão de 4 l/hora . Estes emissores estão localizados ao redor da planta a uma distância de $1,75 \text{ m}$. Pede-se que determine:

- o volume total de água aplicada pelos emissores, após uma irrigação de 12 horas ;
- o percentual de área molhada, considerando que a faixa ideal de irrigação é a área de solo compreendida entre 90 e 260 cm de distância, em relação ao caule da planta;
- a profundidade máxima de umedecimento da água aplicada.

Solução:

- volume total de água aplicada pelos emissores é igual a 192 l ($=4 \text{ emissores} \times 4 \text{ l/hora} \times 12 \text{ horas}$).
- o percentual de área molhada depende do raio de umedecimento lateral e do volume de água aplicado por emissor. Assim sendo e considerando que cada emissor aplica 48 l , o raio de umedecimento lateral (equação 4) é igual a:

$$R_l = 50,8 \text{ cm}$$

Desta forma, a área molhada por emissor, na superfície do solo, pode ser obtido, considerando a área de um círculo correspondente ao raio molhado calculado acima, ou seja:

$$\begin{aligned}A_e &= \pi (50,8 \text{ cm})^2 \\ &= 8107 \text{ cm}^2 \\ &= 0,81 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Neste caso, os quatro emissores contribuem com uma área total de molhamento de $3,24 \text{ m}^2 (=4 \times 0,81 \text{ m}^2)$.

Por outro lado, a faixa de solo compreendida entre 90 e 260 cm , em relação ao caule da planta, equivale a uma área de:

$$\begin{aligned}A_e &= \pi (260^2 - 90^2) \text{ cm}^2 \\ &= 186.925 \text{ cm}^2 \\ &= 18,69 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Concluindo, a área molhada pelos quatro emissores corresponde a $17,3 \%$ ($= 100 \times 3,24 / 18,69$) da faixa ideal de aplicação de água.

É importante destacar que o percentual de área molhada, calculado acima, pode não ser suficiente para atender a demanda de água de uma mangueira adulta. Neste caso, a so-

lução seria aumentar o número de gotejadores e assim incrementar o percentual de área molhada para um valor compatível com as exigências da planta. Por exemplo, caso fosse adotado um valor de 30% para esta área molhada, haveria necessidade de um total de *sete emissores* por planta.

(c) a profundidade máxima de molhamento nestas condições é a seguinte:

$$\begin{aligned} P_b &= \left(\frac{R_v}{2,90} \right) \frac{I}{0,652} \\ &= \left(\frac{50,8}{2,90} \right) \frac{I}{0,652} \\ &= 80,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

1.2 Microaspersão

A irrigação por microaspersão utiliza emissores com diâmetro de saída de água maior do que nos gotejadores e, por isso, apresentam vazões tipicamente superiores, variando de 15 a 200 l/h, operando com pressões na faixa de 8 a 35 metros de coluna d'água (m.c.a.). Neste método de aplicação de água, a área superficial molhada por emissor é maior do que no gotejamento. A água aplicada é aspergida em círculos completos ou na forma de setores circulares irrigados, com um raio de alcance variando de 0,8 a 3,5 m. No comércio, existe uma variedade de emissores, com características de funcionamento diversos, variando na forma e na área de cobertura da água distribuída, conforme ilustrado na Figura 4.

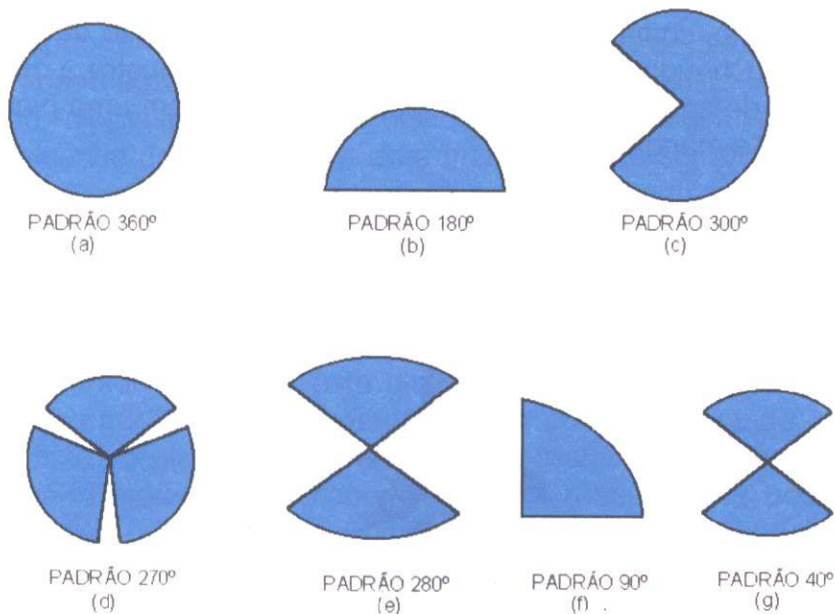


FIG. 4. Exemplos de padrões de distribuição de microaspersores.

Fonte: James (1988)

A variedade de padrões de molhamento de microaspersores disponíveis no mercado torna este sistema de irrigação mais versátil em relação a sua capacidade de se adequar mais facilmente a uma diversidade de culturas e espaçamentos. Por exemplo, caso não se deseje molhar diretamente o tronco da planta pode-se utilizar qualquer um dos microaspersores com setores não irrigáveis e posicioná-lo, adequadamente, em relação ao tronco da planta. Uma opção, por exemplo, é utilizar dois microaspersores por planta com o padrão de molhamento semi-circular, posicionando o semicírculo irrigado voltado para fora da planta.

O fato do microaspersor irrigar uma área maior do que a do gotejador torna-o, em geral, mais adequado para irrigação de culturas com espaçamento amplo, como é o caso da mangueira (Choudhury & Soares, 1992). A Figura 5 ilustra a distribuição de água de um microaspersor instalado em uma planta jovem de manga.

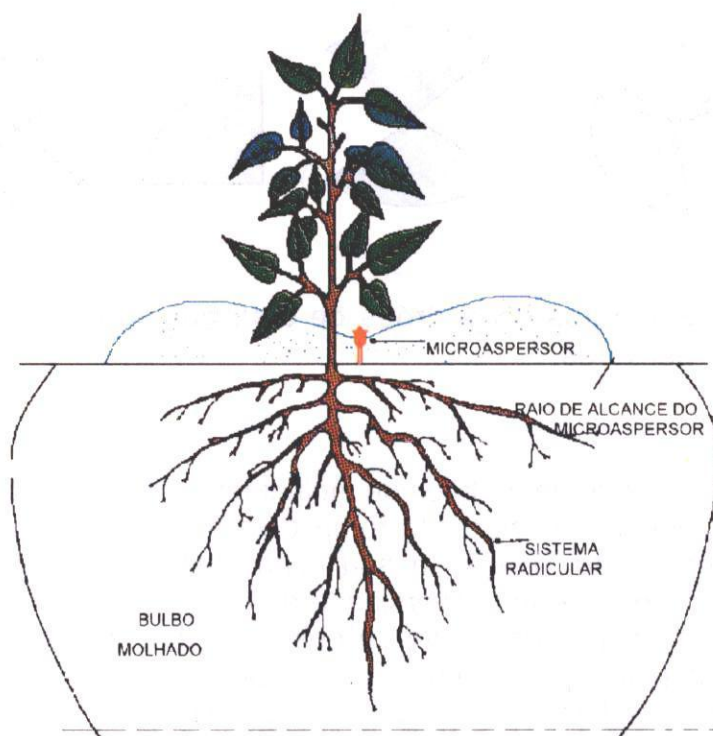


FIG. 5. Ilustração do bulbo molhado formado por um microaspersor.

Fonte: Soares & Costa (s.d.)

No caso da cultura da manga, é comum a utilização de microaspersor com padrão de molhamento em círculo completo, tendo um raio de abrangência suficiente para cobrir a área de absorção de água das raízes. Atualmente, existe no mercado microaspersores com dispositivo de regulagem do raio de alcance de modo que a área molhada pode ser ajustada à medida que a planta se desenvolve. Em alguns casos, adota-se o padrão de molhamento de 180°, colocando dois microaspersores por planta. Esta alternativa permite a colocação dos dois emissores próximo ao tronco da planta, com o semicírculo de irrigação voltado para fora. Dependendo do tipo de microaspersor escolhido, esta disposição possibilita a mudança para o padrão de molhamento circular completo quando, por exemplo, a planta estiver adulta e necessitando de uma área molhada maior. Neste caso os dois microaspersores podem ficar mais afastados do tronco da planta, em uma posição adequada para cobrir melhor a área de absorção radicular da planta adulta. Baseado nos estudos de Choudhury & Soares (1972), o microaspersor poderia ficar, por exemplo, a uma distância de 1,75 m do tronco da planta adulta.

Outra aplicação interessante da microaspersão é a irrigação de viveiros de mudas. Neste caso os microaspersores são instalados em tubulações apropriadas, fixadas embaixo do telado de sombrite, produzindo uma distribuição uniforme da água sobre as mudas. Neste esquema de distribuição os emissores são colocados em um espaçamento adequado de modo a promover um recobrimento completo de toda área irrigada. A Figura 6 ilustra o perfil transversal de um viveiro irrigado com microaspersores. Neste caso, os microaspersores foram colocados em um espaçamento de 1,5 x 1,5 m, produzindo um cortina uniforme de água. Os microaspersores estão instalados a uma altura aproximada de 1,80 m acima do solo.

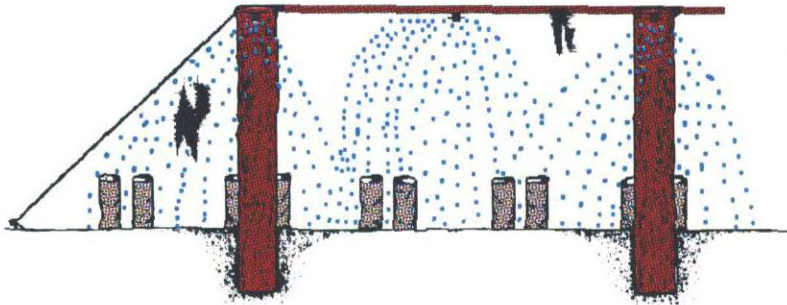


FIG. 6. Seção transversal de um viveiro de mudas irrigado por microaspersão.

Fonte: Adaptado de Pinto (1994).

1.3 Aspersão

Neste método de aplicação de água, toda área cultivada é irrigada, o que representa uma perda significativa de água em culturas como a mangueira, pois os espaços vazios entre plantas recebem água desnecessariamente. Este método de irrigação, empregado para a mangueira, é geralmente do tipo sobrecopa (aplicação de água sobre a copa da planta), nos primeiros dois anos de idade da cultura, e sobcopa (Figura 7), posteriormente. Neste caso, os aspersores convencionais, com ângulo de trajetória normalmente superior a 20° , são substituídos por aspersores com ângulo zero.

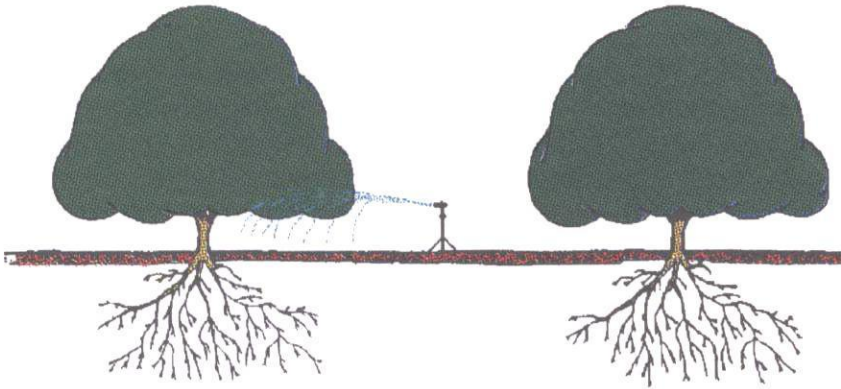


FIG. 7. Esquema típico de aspersão sobcopia em mangueira.

Fonte: Soares & Costa (sd.)

Uma das grandes limitações deste sistema de irrigação em culturas como a mangueira é a baixa uniformidade de aplicação por causa da intercepção do jato de água pela folhagem das plantas. Além disso, o impacto direto nas panículas mais baixas da copa pode provocar a derrubada de flores bem como espantar ou afastar os insetos polinizadores destas panículas. O efeito sobre a desuniformidade produzida por esta intercepção pode ser verificado pelos resultados de Merriam et al. (1973) que relatam coeficientes de uniformidade de Christiansen em culturas perenes irrigadas por aspersão sobcopia da ordem de 70 a 82%. Soares et al. (sd.b) encontraram valores de coeficientes de uniformidade de Christiansen de 53% em áreas irrigadas por aspersão sobcopia em mangueira na Fazenda Fruitfort, Petrolina-Pe. Estes autores observaram que a intercepção do jato de água pelos ramos das plantas foi a principal responsável pelo resultado tão baixo de uniformidade encontrado.

1.4 Outros métodos

Os métodos de irrigação tradicionais por sulcos e microbacias de inundação também podem ser utilizados para irrigação de mangueiras. Sua aplicação, no entanto, depende em grande parte das características de infiltração (absorção da água pelo solo) e de disponibilidade de água do solo. Em geral, não se recomenda a irrigação por sulcos e microbacias de inundação em solos de textura arenosa, infiltração elevada, capacidade baixa de retenção de água. Nestes solos, a eficiência de irrigação tende a ser baixa e a frequência de irrigação elevada, encarecendo, assim, os custos de bombeamento e de mão-de-obra. Certamente, havendo condições de solo ideal para o emprego destes métodos de irrigação, sua implementação pode resultar em uma economia considerável no investimento inicial, pois, dependendo das características de topografia e infiltrabilidade do solo, o custo de implantação destes métodos de irrigação é bem inferior ao da irrigação pressurizada.

2. MANEJO DA ÁGUA

O consumo de água de uma cultura é uma função direta da demanda evapotranspirativa do local, do conteúdo de água presente no solo e da capacidade de resistência da planta à perda de água através das folhas. Neste sistema solo-planta-atmosfera, a transferência de água ocorre de forma passiva, em resposta às diferenças de potenciais de água estabelecidos entre o solo, a planta e a atmosfera, ou seja, o movimento de água do solo para as raízes ocorre em função de um gra-

diente de potencial formado entre o solo e as células das raízes da planta. Por sua vez, a transferência de água das raízes para as folhas ocorre em resposta ao gradiente de potencial criado entre estes dois pontos da planta. Finalmente, a perda de água da planta para o ambiente externo acontece em resposta ao diferencial de potencial imposto entre a atmosfera em volta da copa e as células transpirativas da planta.

Uma vez implantado o equipamento de irrigação selecionado, o produtor necessita de uma estratégia de manejo de água que defina, de forma racional, o momento certo e a quantidade de água adequada para atender as necessidades hídricas da cultura. É importante destacar que a implementação de qualquer estratégia de manejo de água só terá sucesso se o sistema de irrigação estiver bem dimensionado, ou seja, com capacidade para atender a demanda de água da cultura em seu estágio de máximo consumo. Vale ressaltar que o objetivo do manejo de irrigação não é simplesmente economizar água, aplicando menos do que a cultura necessita, mas o de realizar as regas no momento certo e de acordo com a quantidade de água requerida pela planta. Adotando-se um manejo adequado é possível utilizar, muitas vezes, o sistema de irrigação em um tempo inferior àquele em que foi projetado, economizando em termos do tempo de operação, com reflexos diretos nos custos de energia e mão-de-obra.

2.1 Critérios para o manejo de água

Existem vários procedimentos que podem ser adotados como critérios adequados para realização do manejo da água de irrigação. De uma maneira geral, os critérios existentes se baseiam em medidas do "status" da água em um ou mais

componentes do sistema solo-planta-atmosfera. Assim sendo, as medidas que levam a uma avaliação do potencial de água no solo, na planta ou na atmosfera podem perfeitamente ser utilizadas para se estabelecer critérios racionais que permitam definir, adequadamente, o momento da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada.

2.1.1 Medidas climáticas

Existem vários critérios baseados em medidas climáticas que podem ser usados para avaliação das necessidades hídricas de uma cultura. As variáveis climáticas mais comumente utilizadas são: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e evaporação da água do solo. Com base nestas informações é possível determinar a evapotranspiração (consumo de água em uma área cultivada) de uma cultura, considerada como referência, e, a partir deste dado estimar, através de coeficientes apropriados, o consumo de água de uma dada cultura. Estes métodos variam desde simples medidas de evaporação da água de um tanque como o classe "A", até complexas equações empíricas, utilizando medidas de radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura do ar (Doorenbos & Pruitt, 1984). A utilização destes métodos pelo produtor, muitas vezes, é limitada pela falta dos instrumentos necessários para realização das medidas desejadas.

Ao nível da propriedade agrícola, tem-se observado que a estratégia de manejo de água baseada em medidas de evaporação, utilizando o tanque classe "A", pode ser adotada pelo produtor sem grandes dificuldades, pois o instrumental requerido é relativamente simples e de baixo custo. Neste caso, os requerimentos de água da cultura podem ser obtidos, utili-

zando-se os coeficientes apropriados, para transformar as leituras de evaporação do tanque, em estimativas de consumo de água da cultura ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. A grande limitação desta metodologia é a precisão das estimativas, que dependem de certa forma da acuracidade dos coeficientes utilizados. No caso da cultura da manga, a situação é ainda mais grave porque os coeficientes culturais recomendados (Soares & Costa, sd) são valores adaptados da cultura do limão apresentados por Doorenbos e Pruitt (1984).

Dos vários fatores que afetam a precisão dos coeficientes culturais na estimativa da evapotranspiração da cultura, Doorenbos & Pruitt (1984) destacam como importante a condição de umedecimento do solo, especialmente nos casos em que parte da área irrigada encontra-se descoberta, favorecendo o processo de evaporação da água do solo. Sob condições de solo úmido, os valores médios dos coeficientes de cultura recomendados podem subestimar em 50% ou mais o consumo de água da área irrigada. O erro pode afetar drasticamente uma estratégia de manejo de água que esteja baseada nestes tipos de medidas. Este erro é maior quando as irrigações são freqüentes, como é o caso de áreas irrigadas de solos arenosos. Diante dos pontos levantados, considera-se pouco provável o sucesso de uma estratégia de manejo de água, baseada em medidas climáticas, utilizando o conjunto de informações atualmente disponíveis sobre coeficientes culturais para mangueira.

2.1.2 Medidas na planta

Uma outra forma de se estabelecer o grau de deficiência hídrica da planta é realizar medidas diretamente na planta. Mederski (1961) indica que se fosse possível realizar uma avaliação do balanço interno de água na planta, esta seria a

estratégia mais correta para se estabelecer critérios para determinação das necessidades hídricas da cultura. Infelizmente, as técnicas disponíveis para realização deste balanço são ainda inacessíveis ao mangicultor.

Existem vários indicadores que podem ser utilizados para avaliação da deficiência hídrica de uma cultura. Haise & Hagan (1967) consideram a folha como um dos órgãos principais para análise do potencial hídrico da planta, destacando os seguintes indicadores: mudança de coloração; ângulo de posição; índices de crescimento; conteúdo de água absoluto; taxa de transpiração; abertura estomatal e potencial osmótico. Indicam ainda que, em determinadas plantas, como as fruteiras, os índices de crescimento do tronco e dos frutos também podem ser utilizados como indicadores do estado hídrico da planta. Haise & Hagan (1967) relatam resultados de pesquisa de vários autores que demonstram existir uma relação estreita entre o crescimento do fruto jovem e o suprimento de água disponível para a cultura do limão. Em mangueira, o encurvamento da folha e o barulho típico de “papel amassado”, quando se amassa o limbo, são, em geral, indicadores práticos na avaliação da deficiência hídrica desta cultura.

Estudos sobre as relações água-planta e sua tolerância à deficiência hídrica para a cultura da manga são escassos. Os poucos dados existentes, obtidos por Pongsomboon, citado por Whiley (1993), demonstram que a mangueira tem a habilidade considerável para manter um elevado potencial de água na folha por um período prolongado, aproximadamente 30 dias, sem suprimento de água. Os dados apresentados por Whiley (1993) revelam que os mecanismos de tolerância à seca da mangueira estão relacionados mais com a capacidade da planta em manter-se túrgida por mais tempo do que com a resistência dos tecidos ao dano.

As informações apresentadas por Whiley (1993), sobre a resposta da mangueira ao déficit hídrico, através de medidas do potencial de água na folha, podem se constituir em um excelente indicador sobre o nível de estresse que deve ser imposto à mangueira para que ela floresça. Este autor relata que, com cinco semanas de estresse hídrico, imposto em plantas adultas, o potencial de água na folha (antes do amanhecer) atingiu -0,8 MPa (mega Pascal) e o crescimento vegetativo da planta cessou. Informou ainda que, após o reinício das irrigações, a cultura floresceu em 3 semanas. Este florescimento foi altamente evidenciado nas plantas que atingiram um potencial de água na folha por volta de -0,75 MPa.

Uma outra alternativa de medição do "status" hídrico da planta é a utilização de medidas de temperatura da folha, por meio do termômetro infra-vermelho. Este método baseia-se no fato de que as folhas das plantas que se encontram em estado túrgido refletem mais luz infra-vermelha do que as folhas não túrgidas (Haise & Hagan, 1967). Esta mudança no estado hídrico da planta pode ser acompanhada facilmente através de avaliações de temperatura da folha, pois, a temperatura da planta aumenta, em relação a temperatura do ambiente, quando o processo de transpiração é reduzido face a uma deficiência hídrica. Com o advento do termômetro infra-vermelho portátil, esta técnica de medição ganhou força e vários estudos têm sido desenvolvidos no sentido de estabelecer as bases teóricas e práticas para sua utilização em campo (Jakson, 1982 e Idso et al. 1986). Contudo, apesar dos avanços alcançados, ainda há necessidade de mais informações para viabilizar sua aplicação prática na agricultura irrigada.

2.1.3 *Medidas no solo*

Medidas do conteúdo ou tensão de água no solo podem ser utilizadas para avaliar indiretamente a deficiência hídrica de uma cultura (Heermann et al. 1990). Isto é possível porque a taxa de suprimento da água do solo para a planta é controlada, dentro de certos limites, pelo próprio solo. Em geral, a medida que o conteúdo de água no solo decresce, a planta tem que reduzir seu potencial de água nas células de absorção, visando manter o fluxo hídrico na quantidade requerida para satisfazer suas necessidades. A planta realiza este feito, produzindo solutos, como os ácidos orgânicos, que diminuem o potencial osmótico da célula e com isso mantém o gradiente de potencial na magnitude necessária para garantir o suprimento de água desejado. Este trabalho adicional é realizado às custas da energia e dos produtos metabólicos que são redirecionados para as células de absorção de água que, ao contrário, iriam para as células de crescimento e produção (Bowman & Nakayama, 1986). Esta é uma das razões porque uma deficiência hídrica no sistema solo-planta-atmosfera resulta na paralisação do crescimento vegetativo e redução da produtividade.

O uso de medidas de tensão da água no solo para o controle das irrigações tem como principal vantagem a possibilidade de extrapolação dos resultados para solos semelhantes com poucas modificações. Isto é possível porque o consumo de água da planta é realizado em resposta à diferenças de potenciais que produz, de certa forma, um efeito semelhante na planta independentemente do local considerado. É importante salientar que, no entanto, as culturas, em geral, são afetadas diferentemente em relação ao nível de tensão estabelecido no solo. Segundo Bowman & Nakayama (1986), o potencial de água nas raízes de plantas túrgidas, adequadas

mente supridas de água, está na faixa de -50 a -100 kPa, ou seja, o potencial de água no solo deverá ser superior a estes valores para que seja estabelecido uma diferença de potencial capaz de garantir o fluxo de água para a planta. Vale ressaltar que medidas de tensão da água no solo têm sido largamente utilizadas para o estabelecimento do manejo da água para várias culturas perenes (Hilgeman & Reuther, 1967).

Estudos realizados com a mangueira 'Sensation', em Malaga, Espanha, em um solo com 75% de areia, 8% de argila e 17% de silte, indicaram que não houve diferenças significativas no rendimento e no tamanho dos frutos, com irrigação por gotejamento, aplicada em função da tensão média de água no solo, controlada em três níveis : -27 kPa, -50 kPa e -70 kPa, na camada de solo de 1 m de profundidade. Este esquema de irrigação foi conduzido desde a implantação da cultura até os cinco anos de idade (Farré & Hermoso, 1993). Resultados obtidos por Wittwer (1991), com mangueira adulta, cv. 'Fascell', na África do Sul, com irrigações aplicadas quando a tensão de água no solo atingia -30 ou -60 kPa, como média das profundidades de 30, 60 e 90 cm, revelaram que a cultura teve maiores rendimentos com a irrigação controlada a -30 kPa. Estes estudos demonstram que é possível a utilização de medidas de tensão de água no solo para controlar o momento das irrigações em cultura perene como a mangueira.

2.2 Tensiometria

Existem vários instrumentos que podem ser utilizados para medir a deficiência hídrica no solo. Equipamentos como tensiômetros (Richards & Gardner, 1936), blocos de gesso (Bouyoucos & Micks, 1947), sensores térmicos (Shaw & Baver, 1939) e psicômetros (Richards & Ogata, 1958) têm sido

usados com sucesso para monitorar o potencial de água no solo para fins de controle das irrigações. Estes instrumentos têm sido inclusive utilizados em esquemas de automação para o acionamento de sistemas de irrigação (Phene, 1986). Dentre estes instrumentos, o tensiômetro tem sido um dos mais largamente comercializados (Haise & Hagan, 1967). Richards & Marsh (1961) sugeriram que o tensiômetro poderia ser utilizado tanto para determinar o momento das irrigações como para calcular a quantidade de água a ser aplicada.

2.2.1 Funcionamento

O tensiômetro é constituído basicamente de um tubo de plástico, uma cápsula de cerâmica ou porcelana porosa e um medidor de vácuo que pode ser um manômetro de mercúrio ou vacuômetro metálico. A Figura 8 apresenta um modelo esquemático de um tensiômetro com manômetro de mercúrio.

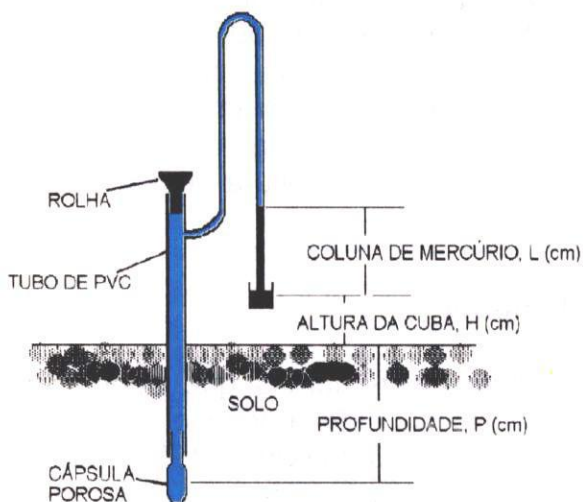


FIG. 8. Tensiômetro de mercúrio.

Os tensiômetros podem ter comprimentos variáveis de acordo com a profundidade desejada de medição. Seu funcionamento é simples, liberando ou admitindo água, através da cápsula porosa, à medida que o solo seca ou umedece, respectivamente. O tensiômetro, por ser um sensor de vácuo, possui um limite teórico de medição de 100 kPa, equivalente a 760 mm de Hg, 100 centibar ou 1 atm. Na prática, contudo, sua faixa de medição é de 0 a 80 kPa. A leitura zero indica que o solo está saturado e que as raízes das plantas podem sofrer pela falta de oxigênio. De 10 a 60 kPa, o teor de água no solo é adequado para a maioria das culturas (Azevedo et al. 1983).

O tensiômetro é uma unidade hermeticamente fechada, que permite somente a entrada ou saída de água, através da cápsula porosa. Durante seu funcionamento, quando o solo seca a um nível de tensão superior à sua capacidade de medição, os poros da cápsula se esvaziam e permitem a entrada de ar no instrumento que deixa assim de funcionar corretamente. Neste caso, o tensiômetro, após ser reabastecido com água, pode voltar ao funcionamento normal tão logo o conteúdo de água do solo retorne ao nível de operação do instrumento. A quantidade de água necessária para o reabastecimento diário do tensiômetro, durante as leituras de rotina, é relativamente pequena, em torno de 4 ml por tensiômetro.

Um dos problemas comumente encontrados durante a operação do tensiômetro é a formação de bolhas de ar dentro do sistema de medição, que afeta o funcionamento, especialmente dos tensiômetros de mercúrio. Este problema pode ser minimizado utilizando, para reabastecimento, água fervida para remoção dos gases dissolvidos. Esta água deverá ser mantida em vasilhame fechado para evitar a reintrodução dos gases. Além disso, recomenda-se usar água destilada ou filtrada para evitar a deposição de materiais no interior da cápsula.

sula porosa.

A leitura do tensiômetro com manômetro de mercúrio é convertida em tensão de água no solo utilizando a seguinte equação:

$$T = 12,6 L - H - P \quad (5)$$

onde T = tensão de água no solo ($cm H_2O$); L = altura da coluna de mercúrio lida na escala do tensiômetro (cm); H = distância do nível de mercúrio na cuba em relação ao solo (cm); P = profundidade do tensiômetro (cm).

O exercício seguinte demonstra a utilização da equação (5) para o cálculo da tensão de água no solo em uma dada situação de uso do tensiômetro de mercúrio.

Exercício 3 . Determine o valor de tensão da água no solo, correspondente a uma leitura de $30 cm$ de coluna de mercúrio, de um tensiômetro instalado a uma profundidade de $60 cm$ e com o nível do mercúrio na cuba posicionado a $5 cm$ da superfície do solo.

Solução:

$$\begin{aligned} T &= 12,6 (30) - 5 - 60 \\ &= 313 \text{ cm } H_2O \\ &= 0,303 \text{ atm} \\ &= 31,9 \text{ kPa} \end{aligned}$$

2.2.2 Instalação

Para instalação do tensiômetro, primeiro procede-se à abertura de um furo no solo, com um trado, ou até mesmo com um tubo de PVC, se o solo estiver úmido e não compactado. Este furo deverá ter uma abertura semelhante ao diâme-

tro do tensiômetro. Em seguida, recomenda-se despejar no buraco aberto uma lama feita com o solo do próprio local e, então, inserir o tensiômetro. Este procedimento garante o condicionamento necessário para obtenção de um bom contato entre a cápsula e o solo. A Figura 9 ilustra uma seqüência de operações de instalação do tensiômetro no campo.

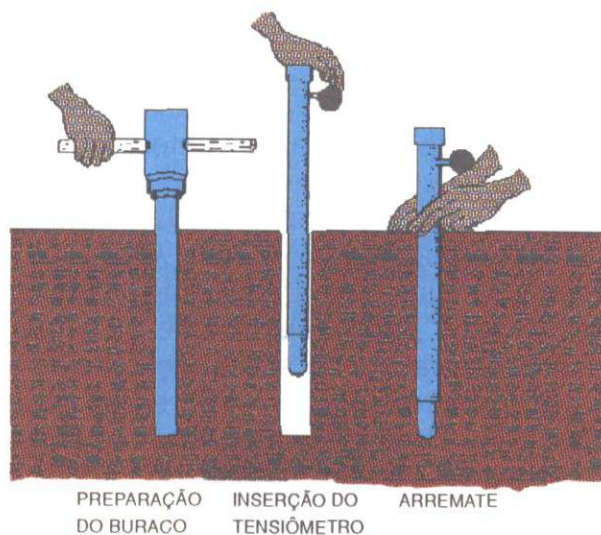


FIG. 9. Procedimentos para instalação do tensiômetro.

Fonte: Azevedo et al. (1983).

2.2.3 Localização

Os tensiômetros devem ser instalados na zona de absorção do sistema radicular da planta, o que demanda um conhecimento preciso sobre a distribuição espacial das raízes absorventes da cultura. No caso de culturas perenes, de espaçamento amplo, a exemplo da mangueira, o padrão de dis-

tribuição radicular muda ao longo do desenvolvimento da cultura e, portanto, a localização dos tensiômetros precisa ser alterada para posições de maior concentração das raízes de absorção. Farré & Hermoso (1993) instalaram tensiômetros a 45 e 60 cm de distância do tronco e a 25, 50 e 100 cm de profundidade para monitorar a tensão de água no solo em manga até cinco anos de idade. Já Bojappa & Singh (1974) encontraram que a maior atividade radicular de mangueiras adultas enxertadas está a 120 cm do tronco e a 15 cm de profundidade. Avilan & Meneses (1979), estudando a distribuição radicular da mangueira 'Haden' de 17 anos de idade, cultivada em solos de textura média e grossa, observaram que a maior concentração de raízes absorventes está localizada ao redor de 2 m do tronco da planta e nos primeiros 40 cm de profundidade. Choudhury & Soares (1992), avaliando a distribuição radicular de mangueira 'Tommy Atkins' de 8 anos de idade, cultivada em um solo arenoso no Perímetro Irrigado "Senador Nilo Coelho", encontraram que 68% das raízes de absorção e 86% das raízes de sustentação estão localizadas na faixa de solo compreendida entre 90 e 260 cm em relação ao caule e que 65% das raízes de absorção e 56% das raízes de sustentação estão distribuídas uniformemente nos primeiros 60 cm de solo.

Os resultados apresentados por estes estudos demonstram claramente a necessidade de verificação do desenvolvimento radicular da mangueira para a definição precisa do número e localização dos tensiômetros em relação a uma dada planta. Haise & Hagan (1967) consideram que duas a três profundidades, previamente selecionadas na zona de absorção radicular da planta, são suficientes para caracterizar o perfil da deficiência hídrica no solo. Choudhury & Soares (1992) recomendam a camada de 30 a 60 cm para uma mangueira adulta como local apropriado para o monitoramento do manejo de água. Wittwer (1991) instalou tensiômetros nas

profundidades de 30, 60 e 90 cm, para acompanhamento da variação da tensão de água no solo. Em termos da distância de instalação do tensiômetro em relação ao caule da planta adulta, os estudos realizados indicam que a faixa de solo de 90 a 260 cm representa o local apropriado para o monitoramento (Choudhury & Soares, 1992). Em termos da quantidade de locais ou plantas a serem monitoradas, Haise & Hagan (1967) consideram que 3 a 4 pontos de medida são suficientes para a obtenção de uma média representativa, quando se tratar de solos relativamente uniformes.

A Figura 10 ilustra a instalação de três tensiômetros nas profundidades que seriam indicadas para uma mangueira adulta. A indicação da posição dos tensiômetros, mostrados na ilustração, não refletem sua localização real em relação ao tronco da planta. Eles devem ser instalados ao longo de um arco de círculo, a uma distância recomendada do tronco da planta, que seja representativa do local de maior atividade radicular.

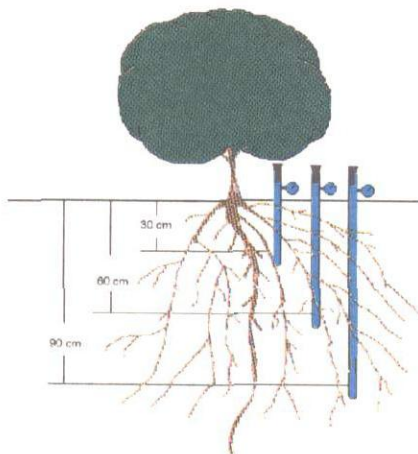


FIG. 10. Instalação típica de tensiômetros em uma mangueira adulta.

2.3 Lâmina de irrigação

O cálculo da lâmina de água a ser aplicada por irrigação, utilizando somente as leituras dos tensiômetros, pode ser realizado, conhecendo-se a relação entre o conteúdo de água no solo e a tensão com que esta água está retida. Esta relação é conhecida como curva de retenção de água do solo. A Figura 11 apresenta um exemplo típico de uma curva de retenção de água de um solo arenoso da região de Teresina-PI. Os dados apresentados representam a média de dois perfis de uma camada de solo de 0 a 90 cm. A densidade média do solo seco é de $1,5 \text{ g/cm}^3$.

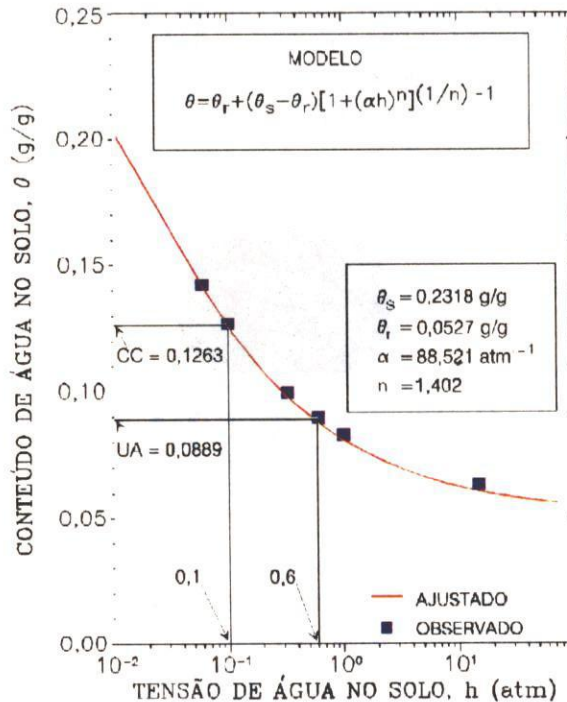


FIG. 11. Curva de retenção de água no solo.

Os valores pontuais de conteúdo de água do solo da Figura 11 foram ajustados ao modelo matemático indicado (van Genuchten, 1980), utilizando regressão não-linear. Neste modelo, θ_s representa o conteúdo de água na saturação; θ_r representa o valor residual do conteúdo de água quando a tensão tende para infinito; α é um parâmetro empírico de ajuste, expresso na unidade inversa da tensão h ; e n também é um parâmetro empírico de ajuste e sem dimensão.

Para efeito de cálculo da lâmina de água, em função do déficit hídrico no solo, é conveniente definir um limite superior de água retida além do qual qualquer água adicionada estaria sujeita a uma drenagem rápida pelos macroporos, tornando-se inaproveitável pela planta. Este limite máximo de água retida no solo é comumente denominado Capacidade de Campo (CC). Na Figura 11, este limite de água retida corresponde à tensão de 0,1 atm. Por outro lado, seria também útil destacar o limite inferior de água retida no solo (UA), equivalente ao conteúdo de água presente no momento da irrigação. Na Figura 11, este valor está representado pela tensão de água correspondente a 0,6 atm. A diferença entre estes limites, CC e UA, representa a deficiência de água no solo que precisa ser repostada pela irrigação. A lâmina de água correspondente pode ser calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$L_B = \left(\frac{CC - UA}{E_f} \right) d_s P_r \quad (6)$$

onde L_B representa a lâmina bruta de água aplicada em mm ; d_s é a densidade do solo seco, expressa em g/cm^3 ; P_r é a profundidade média de molhamento da área irrigada em mm ; E_f é a eficiência de irrigação do sistema, expressa em decimal; e CC e UA estão expressos em g de H_2O/g de solo. O exemplo seguinte ilustra o uso da equação (6) para o cálculo da lâmina de água a ser reposta ao solo.

Exercício 4. Calcule a lâmina de reposição de água para uma camada de 60 cm de solo, com densidade de $1,5 g/cm^3$, e cuja curva de retenção de água é aquela dada pela Figura 11. Assuma que a tensão média de água no solo, no momento da irrigação era igual a $0,6 atm$ e a eficiência de irrigação 90%.

Solução:

$$L_B = \left(\frac{0,1263 - 0,0889}{0,90} \right) (1,5) (600) \\ = 37,4 \text{ mm}$$

A aplicação desta técnica de cálculo para o manejo da irrigação pode ser simplificada elaborando-se uma tabela de conversão de leituras de tensiômetros para lâmina bruta de água, considerando as características de retenção de cada camada de solo. A Tabela 1 mostra um exemplo deste tipo de conversão, considerando uma camada típica de solo de 30 cm de espessura.

TABELA 1. Lâminas de água de reposição, em função da leitura de tensiômetro, correspondente ao solo arenoso da Figura 11, para uma eficiência de aplicação de água de 90%.

Leitura de tensiômetro (mm de Hg)	Camada de solo de 30 cm (mm de água)
100	3,7
120	6,0
140	7,8
160	9,3
180	10,5
200	11,6
220	12,5
240	13,4
260	14,1
280	14,8
300	15,4
320	15,9
340	16,4
360	16,9
380	17,3
400	17,7
420	18,1
440	18,4
460	18,7
480	19,0
500	19,3
520	19,6
540	19,9
560	20,1
580	20,3
600	20,6
620	20,8
640	21,0
660	21,2
680	21,3
700	21,5

Em se tratando da irrigação localizada, onde o conceito é aplicar água individualmente a cada planta, a profundidade de molhamento deve ser considerada como uma média da infiltração vertical do bulbo ou bulbos molhados que atende a planta considerada. Por outro lado, a conversão do valor de lâmina bruta em volume de água aplicada depende da área efetivamente molhada pelo bulbo ou bulbos. Este valor de área molhada multiplicado pela lâmina bruta obtida, resulta no volume de água, expresso em litros, a ser aplicado por planta.

2.4 Estratégias de aplicação de água

Em princípio, um sistema de irrigação bem dimensionado deve ter capacidade para cobrir toda a área irrigada diariamente. Contudo, muitas vezes é desejável efetuar as aplicações de água em um regime de irrigação menos freqüente. Neste caso, cada irrigação deverá suprir a cultura com água suficiente, para satisfazer suas necessidade hídricas durante o tempo em que a área ficará sem receber água. Considere uma unidade de irrigação representada pela Figura 12.

Neste caso, a unidade de irrigação foi subdividida em quatro partes e uma das partes foi selecionada para o monitoramento da deficiência de água no solo. Quando se tratar de uma área com solos apresentando um gradiente textural variado, recomenda-se escolher a porção mais arenosa para instalação dos tensiômetros, uma vez que o esgotamento da água disponível para as plantas, nesta área, ocorrerá mais cedo. Vale ressaltar, no entanto, que o tipo de solo da subárea selecionada, onde serão instalados os tensiômetros, deverá ser representativo de pelo menos um quarto da área total irrigada, neste esquema de subdivisão em quatro partes.

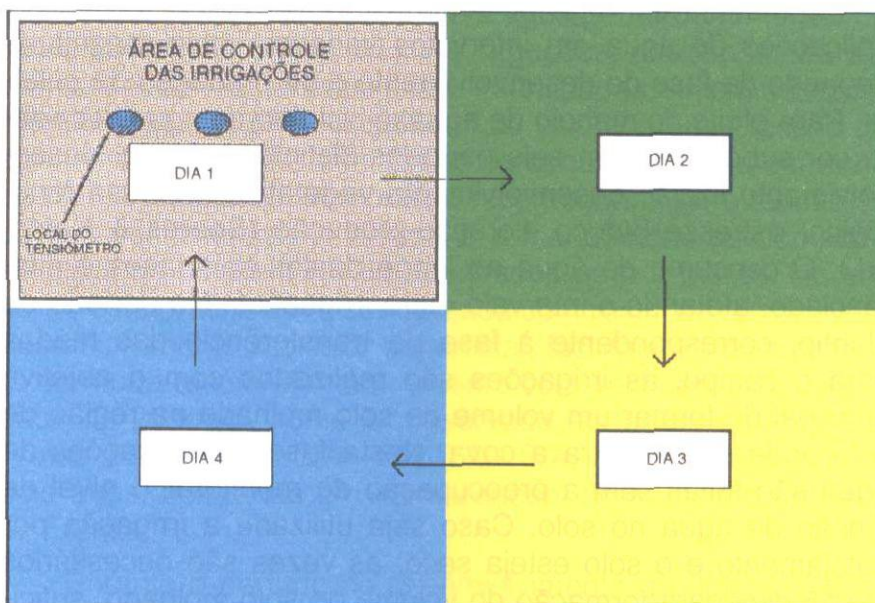


FIG.12. Esquema típico de aplicação de água de uma unidade de irrigação.

Nesta estratégia de manejo, quando os tensiômetros da área de controle indicarem que a deficiência hídrica no solo atingiu o ponto crítico, a irrigação deverá ser então iniciada, começando pela subárea indicada como dia 1. No segundo dia de irrigação, a subárea representada por dia 2 deverá receber a mesma quantidade de água calculada pelos tensiômetros na subárea 1. Este mesmo procedimento será repetido para as subáreas 3 e 4, completando assim o ciclo de irrigação. O número de subdivisões da unidade de irrigação depende da disponibilidade de água no solo e da evapotranspiração da cultura. Normalmente, tratando-se de irrigação localizada e, especialmente, em solos arenosos, o número de subdivisões ficará em torno de 2 a 4.

O manejo de irrigação realizado desta forma resulta em aplicações de água em intervalos variáveis, cuja magnitude depende da fase de desenvolvimento e de produção da cultura. Para efeito de manejo de água, o ciclo da mangueira poderá ser subdividido em seis períodos distintos: plantio, desenvolvimento inicial, desenvolvimento vegetativo, repouso fenológico, estresse hídrico, floração-produção (Soares & Costa, sd.). O consumo de água ao longo destas seis fases é diferenciado, afetando o intervalo entre irrigações. No período de plantio, correspondente à fase de transferência das mudas para o campo, as irrigações são realizadas com o objetivo principal de formar um volume de solo molhado na região do solo onde se encontra a cova. Nesta fase as aplicações de água são feitas sem a preocupação de monitorar o nível de tensão de água no solo. Caso seja utilizada a irrigação por gotejamento e o solo esteja seco, as vezes são necessários até 15 dias para formação do volume de solo molhado, suficiente para manutenção do nível de água requerido para o pegamento completo da muda (Soares & Costa, sd.). Em áreas de regime hídrico favorável, em determinadas épocas do ano, como é caso da região dos Cerrados, recomenda-se efetuar o plantio no início do período chuvoso e a irrigação deve ser utilizada, estrategicamente, para manutenção e redução da perda durante possíveis períodos de estiagem ou veranicos.

Após esta fase, tem início o período de desenvolvimento inicial da cultura. Neste período, é importante que seja mantido um nível adequado de água no solo, pois a cultura recém-implantada ainda tem seu sistema radicular pouco desenvolvido e o contato entre as raízes e o solo ainda não está inteiramente estabelecido, limitando o processo de transferência de água do solo para a planta. A primeira semana após o plantio é extremamente crítica para o pegamento da muda, requerendo uma atenção especial, principalmente quando a muda vem de um substrato argiloso e endurecido, e neste caso é

importante verificar se realmente a água penetrou no torrão da muda (Soares & Costa, sd.). As irrigações, nesta primeira semana, devem ser diárias e em quantidades suficientes para manutenção dos primeiros 60 cm de solo com uma tensão de água em torno de 0,3 atm. O uso de cobertura morta em torno da planta também é uma prática recomendada para reduzir as perdas por evaporação e facilitar a manutenção do conteúdo de água no solo em níveis adequados para a planta. No entanto, esta prática deve ser utilizada com restrições para evitar desenvolvimento radicular superficial, facilitando o tombamento de muda recém-plantada mesmo com ventos a uma velocidade de 20 km/h, como foi observado em áreas da empresa Frutas do Nordeste S/A - FRUTAN S/A, em mangueiras com dois anos, cultivadas em solo arenoso, no município de José de Freitas, PI.

Durante o período de desenvolvimento da planta, o controle das irrigações pode ser realizado utilizando tensiômetros instalados na zona de absorção radicular. Neste caso, recomenda-se irrigar a cultura toda vez que a tensão de água na profundidade de 30 cm atingir um valor em torno de 0,5 atm ou 50 kPa. O volume de água a ser aplicado por planta pode ser calculado em função da deficiência hídrica registrada no perfil do solo e da área média molhada por planta. Segundo Soares & Costa (sd.), quando se tratar de irrigação por gotejamento e microaspersão e o tempo de aplicação de água for superior a 3 horas, recomenda-se fracionar o volume de água em duas ou mais irrigações, a fim de evitar perdas excessivas de água por percolação profunda ou asfixia do sistema radicular da planta.

É importante salientar que, na fase de desenvolvimento da planta, a área de solo explorada pelo sistema radicular aumenta com o tempo e, dependendo do sistema de irrigação empregado, poderá haver necessidade de uma ampliação da

área efetivamente irrigada por planta. O sistema de irrigação pode ter sido projetado para uma área irrigada menor no início do ciclo da cultura e depois ser expandido para cobrir uma área maior quando a cultura atingir seu máximo desenvolvimento. Por exemplo, na microaspersão, existe a possibilidade do uso de emissores com o raio de alcance regulável, de forma que na fase de implantação da cultura, a área molhada pode ser menor, ampliando-a em função do desenvolvimento do sistema radicular da planta. Outra alternativa adotada, em alguns cultivos irrigados de manga, é a utilização de dois microaspersores, por planta, com padrão semi-circular de molhamento (Figura 4b), com a possibilidade de mudança para um círculo irrigado completo (Figura 4a), quando a cultura expandir sua capacidade de exploração radicular.

Durante o período de repouso fenológico da cultura, que acontece logo após a colheita, o manejo da água deve ser realizado de modo que a planta reduza o lançamento de brotos vegetativos, contudo, o suprimento de água deve continuar na quantidade e frequência necessárias para a manutenção da atividade fotossintética plena, para produção dos metabolizados, os quais serão importantes por ocasião do período de indução floral, floração e início do desenvolvimento dos frutos (Soares & Costa, sd.). Nesta fase, as irrigações poderão ser controladas com base em medidas de tensão de água no solo, na profundidade de 60 cm e as aplicações realizadas de modo a umedecer o perfil até a profundidade de 90 cm.

No período de estresse hídrico, a irrigação é paralizada. No caso da irrigação por gotejamento e microaspersão, onde o volume de solo molhado é relativamente pequeno, Soares & Costa (sd.), recomendam que esta paralização seja feita de forma gradativa, dando oportunidade para a planta adaptar-se melhor à condição de estresse imposta. Em solos arenosos e em áreas com regime de irrigação total, o sistema radicular da

mangueira tem uma tendência a se concentrar na porção de solo umedecida pelos emissores e, por isso, uma imposição brusca do estresse hídrico pode prejudicar demasiadamente a cultura. Choudhury et al. (sd.), observaram que o conteúdo de água, em um solo arenoso na região do Submédio São Francisco, nas camadas de 0-30 e de 30-60 cm, atingiram valores de tensão equivalentes a 15 atm e, após 20 dias com a manutenção deste estresse, houve uma queda acentuada de folhas, o que certamente prejudicou a capacidade fotossintética da planta. Nesta fase da cultura, o tensiômetro tem pouca utilidade uma vez que sua faixa de atuação vai no máximo a 0,8 atm. Após o período de estresse, as irrigações devem ser reiniciadas, aplicando-se água suficiente para recompor o perfil de solo, até a profundidade efetiva de absorção radicular e, daí em diante, as reposições de água podem ser feitas com base na deficiência hídrica do perfil de solo identificada pelos tensiômetros.

3. FERTIRRIGAÇÃO

A fertirrigação é o nome dado ao processo de aplicação de fertilizantes juntamente com a água de irrigação. Na realidade, é possível aplicar não somente fertilizantes mas, também, vários produtos químicos, via água de irrigação, desde que eles sejam solúveis em água. Esta prática é bastante utilizada nos países onde a agricultura irrigada está bem desenvolvida (Sousa & Sousa, 1993). Sua utilização é especialmente adequada para sistemas pressurizados de irrigação, como o gotejamento, a microaspersão e a aspersão tradicional (Goldberg & Shmueli, 1970 e Bresler, 1977). Nestes sis-

temas de irrigação, a aplicação de produtos químicos via água de irrigação é facilitada, sobremaneira, pela homogeneização da solução que ocorre naturalmente por causa do movimento turbulento da água nas tubulações, o que contribui para manutenção do material químico uniformemente distribuído nas linhas de condução e distribuição.

A aplicação de produtos químicos via irrigação pressurizada tem sido adotada com bastante ênfase, por causa da economia de mão-de-obra e também pela flexibilidade de aplicação do produto em qualquer época de desenvolvimento da cultura. Através desta prática é possível realizar facilmente parcelamentos de fertilizantes em doses compatíveis com a necessidade nutricional da cultura com um menor custo. A fertilização realizada desta maneira é considerada mais eficiente do que na forma tradicional, pois reduz as perdas por lixiviação, permite uma melhor distribuição do produto no perfil do solo e mantém a planta em um nível nutricional adequado (Dasberg & Bresler, 1985 e Costa et al. 1986). Devido a facilidade de aplicação de fertilizantes por este processo, é possível realizar a fertilização de acordo com a curva de absorção do nutriente pela cultura (Shani, 1981), aumentando assim a eficiência de utilização do fertilizante aplicado. No entanto, vale destacar que a aplicação de cloreto de potássio via fertirrigação no período de estiagem pode resultar em queimaduras no limbo das folhas de mudas recém-plantadas, sintomas típicos de fitotoxidez devido ao aumento da salinidade e pressão osmótica da solução do solo. Este tipo de problema já tem sido identificado em plantios comerciais de mangueira da FRUTAN S/A.

Outras limitações relacionadas com a utilização dessa prática são apresentadas por Wiersma (1969), destacando-se as seguintes: aplicação desuniforme em sistemas de irrigação mal dimensionados; necessidade de funcionamento do siste-

ma de irrigação para aplicação do produto químico, independentemente da necessidade de aplicação de água; possibilidade de precipitação de produtos químicos, como íons de fósforo, na presença de cálcio e magnésio na água de irrigação, favorecendo o entupimento de emissores; perigo de contaminação da fonte de água quando o sistema de injeção não possui dispositivos de segurança para evitar o retorno da solução injetada para a sucção da bomba. Vale ressaltar, contudo, que essas limitações podem ser minimizadas e são contrabalançadas pelas vantagens do processo, tornando esta prática, via de regra, bastante atraente para o produtor. Segundo dados obtidos na FRUTAN S/A, o tempo gasto e a mão-de-obra necessária para adubação nitrogenada, via microaspersão, em uma área de 10 ha de tangerina Murkote, cultivada em espaçamento de 7 x 6 m, foi de 2/3 horas e 2 homens, respectivamente. Por outro lado a mesma tarefa, realizada de forma convencional, consumiu 8 horas e utilizou 30 homens.

É importante salientar que, a aplicação de produtos químicos desta forma apresenta um grau de uniformidade próximo ao da aplicação de água. Esta uniformidade no padrão de aplicação do fertilizante, de certa forma, depende também da taxa de injeção do produto no sistema de irrigação. Em geral, o padrão de uniformidade de aplicação fica mais próximo da distribuição da água, à medida que a solução é injetada mais lentamente (Wiersma, 1969 e Holman, 1978). No caso de sistemas de irrigação por gotejamento, Globbelaar et al. (1976) recomendam um tempo de aplicação de 3 a 5 horas para uma melhor uniformidade de distribuição dos fertilizantes. Por outro lado, Rolston et al. (1981), consideram mais importante a agitação da solução no tanque de mistura e as características hidráulicas do fluxo de água e dos solutos nas tubulações. Seja qual for a estratégia de aplicação adotada, a uniformidade de distribuição do produto, em geral, não será maior do

que a uniformidade de aplicação do sistema de irrigação. Por isso, recomenda-se avaliar a uniformidade de irrigação e corrigir as possíveis distorções antes de se implantar a fertirrigação.

3.1 Métodos de aplicação

Existem várias formas de injetar produtos químicos em sistemas de irrigação pressurizados. Os métodos mais comuns de injeção podem ser agrupados nas seguintes categorias: gravidade, pressão diferencial, pressão negativa e pressão positiva (Costa et al. 1986). Cada método apresenta características de funcionamento favoráveis e desfavoráveis, dependendo das instalações de bombeamento, fonte e qualidade da água, método de irrigação utilizado, sistema de cultivo adotado e produto químico utilizado.

O emprego desses métodos depende, em parte, do tipo de irrigação utilizada e sua implementação é feita através de equipamentos adequados para cada situação. O tanque de fertilizante é uma das peças fundamentais de uma instalação de fertirrigação (Frizzone, 1993). Ele pode ser construído de fibra de vidro, PVC ou de metal, podendo ser aberto ou hermeticamente fechado, dependendo do método de injeção empregado. Em algumas instalações utiliza-se também a caixa de fibro-cimento, quando se trata de aplicação de produtos poucos corrosivos. Outros equipamentos como bombas, para injetar a solução no sistema de irrigação e válvulas de segurança para evitar o retorno da solução para a fonte de água também são utilizados, dependendo do método de injeção empregado.

3.1.1 Gravidade

Este método de aplicação se baseia na pressão existente na linha de irrigação, na diferença de nível entre o tanque de injeção e na existência de uma bomba dosadora movida pelo diferencial de pressão estabelecido pela posição do tanque de fertilização em relação ao ponto de injeção. Costa et al. (1986) apresentam um esquema de funcionamento deste método, reproduzido na Figura 13.

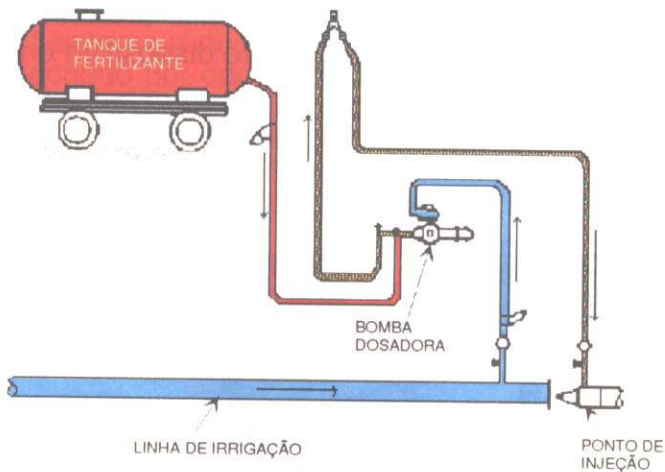


FIG. 13. Esquema de uma instalação para aplicação de produtos químicos, utilizando uma bomba dosadora acionada pela pressão gravitacional.

Fonte: Costa et al. (1986).

Este esquema de aplicação, apesar de ser simples e de baixo custo, pois não necessita de equipamentos sofisticados e dispensa energia externa para seu funcionamento, não tem sido comumente utilizado pelo produtor (Sousa & Sousa, 1993). O sucesso deste método de aplicação depende do funcionamento preciso da bomba dosadora utilizada.

3.1.2 Pressão diferencial

Os métodos baseados na pressão diferencial utilizam dispositivos hidráulicos para forçar a entrada na linha de irrigação. Neste caso, são utilizados aplicadores do tipo venturi, tubo de pitot e tanque de derivação de fluxo para introduzir o produto na linha de irrigação (Rolston et al. 1986).

Venturi. Este dispositivo é um equipamento simples que utiliza o princípio da conversão de energia de pressão, em velocidade, estrangulando a seção de fluxo, para estabelecer o diferencial de pressão capaz de permitir a entrada da solução na linha de irrigação. O uso deste dispositivo encontra-se ilustrado na Figura 14.

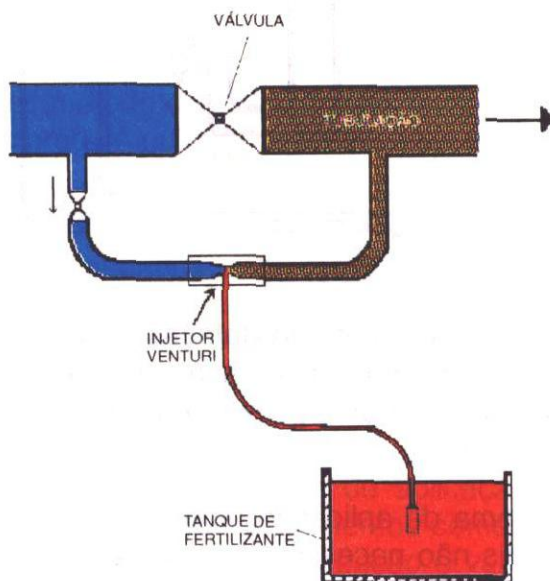


FIG. 14. Esquema ilustrativo de aplicação de fertilizantes utilizando o princípio de Venturi.

Fonte: Frizzone (1993).

O dispositivo de Venturi quando opera sob condições de vazão e pressão bem definidas apresenta uma constância adequada na taxa de injeção da solução diluída no tanque de fertilizantes. A grande limitação deste método de injeção é a elevada perda de carga provocada pelo estrangulamento da tubulação, no local de instalação do venturi, e a limitada margem de operação, por depender de forma acentuada, da vazão e da pressão no venturi (Frizzone, 1993). Em alguns casos há necessidade de utilização de uma bomba auxiliar para aumentar a energia de velocidade no venturi e produzir o abaixamento de pressão necessária para aspiração da solução na taxa desejada (Rolston et al. 1986).

tubo de pitot. Este dispositivo também é relativamente simples. O sistema requer a utilização de um tanque hermeticamente fechado por onde o fluxo de água é forçado a circular, diluindo o fertilizante ali colocado (Figura 15). O dispositivo, que cria o diferencial de pressão, é composto por dois tubos de pitot, onde um deles está voltado contra o fluxo da água e o outro a favor do fluxo (Sousa & Sousa, 1993).

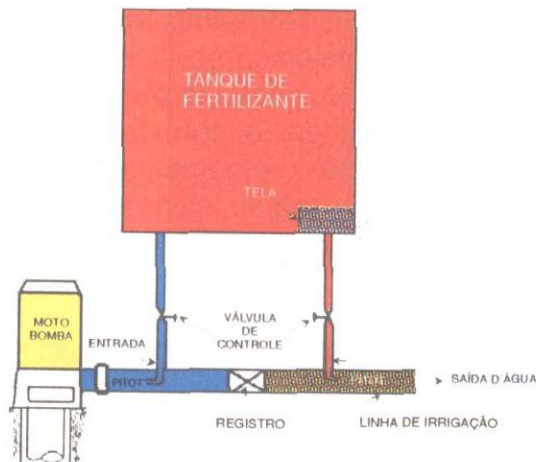


FIG. 15. Dispositivo de pitot para derivação de fertilizante em sistema de irrigação

Fonte: Pair et al. (1975).

Costa et al. (1986) sugeriram a utilização deste dispositivo para aplicação de produtos químicos em sistemas de irrigação utilizados em pequenas áreas. Ele pode ser facilmente adaptado para instalação em linhas portáteis de irrigação por aspersão, facilitando seu deslocamento na área.

Tanques de derivação. Uma variação do dispositivo de pitot é a utilização pura e simplesmente de um registro entre a entrada e a saída para o tanque de fertilização, para se estabelecer o diferencial de pressão desejado. Este esquema de injeção de fertilizantes está ilustrado na Figura 16.

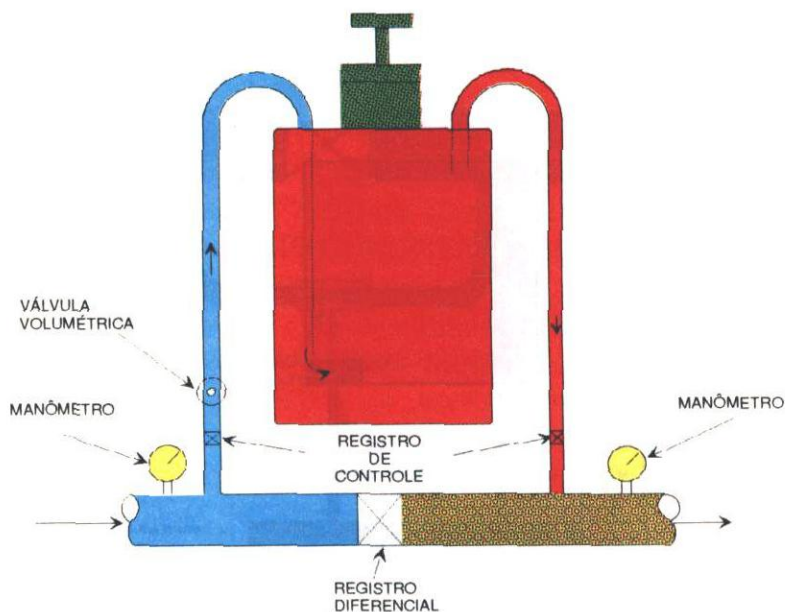


FIG. 16. Tanque de derivação de fluxo para injeção de fertilizantes.

Fonte: Adaptado de Frizzone (1993).

Os tanques de derivação de fluxo são simples, de fácil construção, instalação e funcionamento. Além disso, são de baixo custo e não requerem fonte de energia adicional para sua operação. Podem ser utilizados de forma portátil e a taxa de injeção não é muito sensível às variações de pressão na linha de irrigação. O maior inconveniente no uso do tanque de derivação de fluxo é o fato da concentração do produto injetado diminuir ao longo da aplicação (Rolston et al. 1986), apresentando uma queda exponencial, ou seja, uma redução da concentração mais acentuada no início da aplicação do que nos instantes seguintes. Esta característica limita a utilização deste dispositivo somente em sistemas de irrigação estacionários, a exemplo da microaspersão, gotejamento e irrigação por aspersão convencional.

Segundo Frizzone (1993), a operação do tanque de fertilizante pode ser realizada da seguinte forma: (a) conectar os tubos de circulação de água à linha de irrigação, com os dois registros de acesso ao tanque fechados; (b) encher o tanque com a solução do fertilizante previamente diluído e filtrado; (c) fechar o tanque, depois de completamente cheio; (d) colocar em operação a linha de irrigação, com o registro de estrangulamento totalmente aberto; (e) abrir os registros de conexão ao tanque e fechar lentamente o registro de estrangulamento, estabelecendo o diferencial de pressão desejado.

3.1.3 Pressão positiva

O sistema de injeção por pressão positiva é o mais utilizado na fertirrigação nos diferentes métodos de irrigação (Rolston et al. 1986 e Costa et al. 1986). Este processo de injeção se baseia no princípio da introdução forçada do produ-

to na linha de irrigação, a partir de um tanque de fertilizante aberto. Esta operação é realizada com a ajuda de uma bomba dosadora, que pode ser acionada utilizando-se diferentes fontes de energia. Este método de aplicação não apresenta variação significativa na taxa de injeção. Esta característica é vital nos sistemas móveis de irrigação e importante nos sistemas estacionários, toda vez que o controle da concentração de sais na água é requerido. A Figura 17 ilustra uma instalação típica de fertirrigação, utilizando o princípio da pressão positiva.

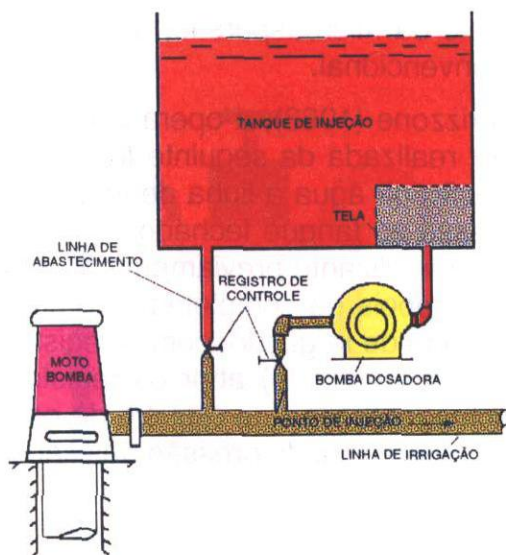


FIG. 17. Sistema de injeção com bomba dosadora.

Fonte: Pair et al. (1975).

O bombeamento da solução neste sistema de injeção de produtos químicos, utiliza, comumente, bombas de pistão e de diafragma. Estas podem ser movidas por motores elétricos, motores de combustão ou pela própria pressão da água.

3.1.4 Pressão negativa

O método de injeção baseado em pressão negativa, normalmente aproveita a queda de pressão desenvolvida na sucção de bombas, como a centrífuga, para introduzir o produto químico juntamente com a água succionada (Rolston et al. 1986). Este método tem como vantagem sua simplicidade. Contudo, é muitas vezes criticado pelo potencial de dano que pode causar ao interior da bomba, pela ação corrosiva dos produtos injetados (Rolston et al. 1986 e Sousa & Sousa, 1993). Obviamente, não se recomenda a injeção na sucção da bomba quando existe o perigo de contaminação da fonte de água. A Figura 18 apresenta um esquema de instalação de fertirrigação utilizando este princípio de injeção.

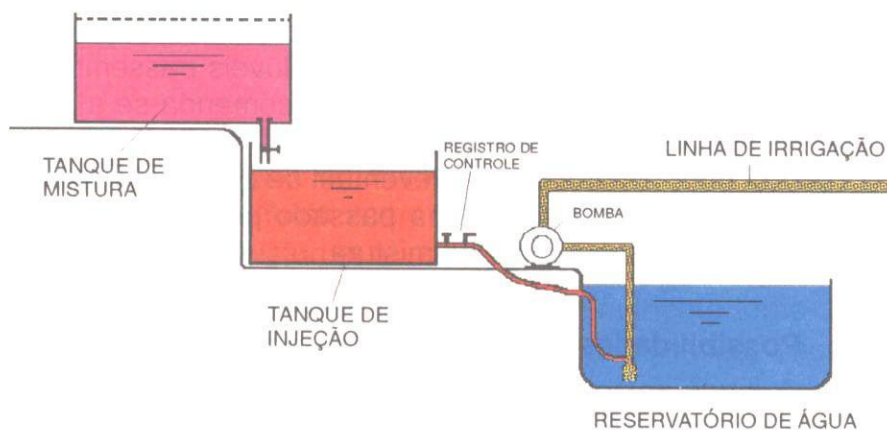


FIG. 18. Esquema de injeção de fertilizantes via pressão negativa.

Neste esquema de fertirrigação, os tanques de mistura e de injeção contêm a mesma solução e concentração. A adoção de dois tanque fixos, sendo um para injeção e o outro para mistura, viabiliza, inteiramente, o processo de aplicação de água e fertilizantes, sem interrupção. Neste caso, a mistura previamente preparada no tanque de mistura, fica disponível para transferência imediata para o tanque de injeção, não havendo necessidade de se esperar pelo seu esgotamento. Na saída do tanque de injeção existem dois registros de controle. O primeiro pode ser um registro simples de gaveta que é utilizado para estabelecer a regulagem da taxa de injeção requerida, enquanto que, o segundo registro pode ser do tipo abre-fecha que é utilizado para admitir, ou não, a solução na sucção da bomba.

No caso da utilização de adubos sólidos, recomenda-se o uso de uma tela no topo do tanque de mistura para receber o fertilizante. A diluição poderá ser realizada utilizando um jato de água de um sistema moto-bomba auxiliar de $\frac{1}{2}$ HP de potência ou mesmo proveniente da própria bomba do sistema de irrigação. A aplicação deste jato de água, dirigido diretamente sobre o adubo colocado na tela, acelera o processo de diluição e a tela evita que os materiais não solúveis passem para a solução a ser injetada. Mesmo assim, recomenda-se a colocação adicional de uma tela de *40 mesh* na saída do tanque de injeção, para evitar a entrada eventual de qualquer material não solúvel que porventura tenha passado pelo processo de filtragem realizado no tanque de mistura.

3.2 Possibilidades de produtos

A aplicabilidade de um dado produto deve levar em consideração, além de suas características de solubilidade, a cultura utilizada e o tipo de água disponível no sistema de irri-

gação. Em geral, produtos como fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, nematicidas, reguladores de crescimento e, até mesmo, bioinseticidas podem ser aplicados via água de irrigação (Costa et al. 1986). O uso de um dado produto pode ser restrito a um determinado sistema de irrigação, devido as suas características de funcionamento. Por exemplo, um produto de aplicação estritamente via foliar não será possível na irrigação por gotejamento porque a água é dirigida diretamente ao solo. Contudo ela será adequada para a distribuição de produtos químicos de uso exclusivo no solo. Estes métodos de irrigação, de uma maneira geral, podem ser utilizados para a aplicação de fertilizantes, de nematicidas, inseticidas e fungicidas de solo, e de herbicidas os pré-emergentes. Este trabalho aborda com mais ênfase as possibilidades de aplicação de fertilizantes.

Nitrogênio. É um dos nutrientes mais utilizados na fertirrigação e possui grande mobilidade na solução do solo, especialmente quando se encontra na forma de nitrato. Este nutriente tem um potencial elevado de perda por lixiviação e, por isso, recomenda-se sua aplicação parcelada, procurando, se possível, realizar a aplicação de fertilizantes de acordo com a curva de absorção da cultura e, assim, minimizar as perdas por lixiviação, especialmente durante a estação chuvosa. Sua utilização, via água de irrigação, pode ser feita através da aplicação de produtos como uréia, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, etc (Rolston et al. 1986).

Potássio. Em solos arenosos, este nutriente torna-se relativamente móvel e, portanto, sujeito a lixiviação, especialmente, durante o período de chuvas. Nestas condições, sua aplicação via água de irrigação é vantajosa, pois, permite o fracionamento do fertilizante nos períodos de maior potencial de perda, sem necessariamente aumentar o custo de mão-de-

obra. Este nutriente pode ser aplicado sob a forma de cloreto de potássio e sulfato de potássio.

Fósforo. Em geral, não se justifica a aplicação deste nutriente via água de irrigação, uma vez que, o íon P_2O_5 é bastante imóvel no solo e, por isso, sua aplicação deverá ser feita, incorporando-o mecanicamente na zona do sistema radicular. Caso ele seja injetado via água de irrigação, grande parte do fósforo aplicado ficará retido imediatamente na superfície do solo (Rolston et al. 1986). Por outro lado, quando a água de irrigação contiver quantidades elevadas de cálcio e magnésio, como é o caso de muitas fontes de água encontradas no nordeste do Brasil, existe o perigo de formação de precipitados de fosfato de cálcio e de magnésio, com sérios riscos de obstrução dos emissores e deposições de crostas no interior das tubulações.

Micronutrientes. Vários tipos de micronutrientes podem ser injetados com sucesso via água de irrigação. Sua concentração é geralmente baixa por se tratar de nutrientes requeridos em pequenas quantidades pelas plantas. Zinco, manganês, cobre e outros elementos essenciais podem ser misturados com outros fertilizantes e injetados na água de irrigação. Dependendo das concentrações utilizadas e da qualidade da água de irrigação, poderá haver a formação de precipitados, com perigo de entupimento de emissores. Neste caso, recomenda-se uma análise criteriosa sobre as quantidades destes nutrientes a serem aplicados na água de irrigação, levando-se em consideração a qualidade da água disponível na propriedade (Rolston et al. 1986). Portanto, é recomendável o uso destes fertilizantes por via foliar.

3.2.1 Solubilidade

O sucesso da fertirrigação está bastante ligado aos tipos de produtos utilizados e em grande parte às características de solubilidade dos nutrientes aplicados. O grau de solubilidade do nutriente é importante no cálculo da quantidade de material a ser dissolvido no tanque de mistura e da concentração do produto na água de irrigação. Neste aspecto, Rolston et al. (1986) e Vitti et al. (1993) apresentam a seguinte lista de alguns fertilizantes comerciais utilizados, suas solubilidades e respectivas composições:

TABELA 2. Solubilidade e composição de alguns fertilizantes comerciais utilizados em fertirrigação.

Nutrientes	Composição média dos nutrientes (%)					Índice salino
	PS ¹	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Outros	
Macronutrientes						
Nitrato de amônio	118	27,0	-	-	-	105
Sulfato de amônio	71	20,0	-	-	24 S	69
Nitrato de cálcio	102	15,5	-	-	28 Ca	61
DAP	43	17,0	40,0	-	-	34
MAP	23	11,0	44,0	-	-	30
Cloreto de potássio	34	-	-	60	48 Cl	115
Nitrato de potássio	32	14,0	-	44	-	31
Sulfato de potássio	11	-	-	52	17 S	46
Nitrato de sódio	73	16,0	-	-	-	100
Uréia	78	46,0	-	-	-	75
Uran	-	32,0	-	-	-	-
K-Mag	-	-	-	-	22 S/18 Mg	43
Ácido fosfórico	-	-	46	-	-	-
Micronutrientes						
Sulfato de Cobre	22	-	-	-	25 Cu	-
Sulfato de manganês	105	-	-	-	28 Mn	-
Molibdato de sódio	56	-	-	-	39 Mo	-
Sulfato de zinco	75	-	-	-	22 Zn	-
Ácido bórico	5	-	-	-	16 B	-
Sulfato Ferroso	75	-	-	-	20 Fe	-

PS = Partes solúveis em 100 partes de água.

Fonte: Rolston et al. (1986) e Vitti et al. (1993).

O índice de salinidade expresso na Tabela 2 representa o aumento da pressão osmótica da solução do solo causada pela aplicação do fertilizante em comparação com o nitrato de sódio (Alcarde, 1993).

3.2.2 Compatibilidade

No que diz respeito a compatibilidade entre os fertilizantes normalmente aplicados via água de irrigação, o principal perigo está relacionado com as possibilidades de formação de precipitados químicos no interior das tubulações (Costa et al. 1986). De acordo com Sousa & Sousa (1993), as principais fontes de fertilizantes sólidos potencialmente utilizáveis na fertirrigação (uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrocálcio, cloreto de potássio, superfosfatos, fosfato de amônio), em princípio podem ser misturados. Contudo deve-se evitar a aplicação simultânea dos fertilizantes fosfatados com nitrocálcio e a uréia. Apesar desta possibilidade de mistura, em geral, recomenda-se a aplicação individual de cada fertilizante.

3.2.3 Potencial de corrosão

Os equipamentos utilizados normalmente em sistemas de irrigação são atacados pelos fertilizantes em diferentes graus. Martin (1953) realizou um estudo sobre o potencial de corrosão de vários metais usados em sistemas de irrigação colocados em contato com solução de alguns fertilizantes, conforme demonstram os resultados apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Grau de corrosão relativa de vários metais, após a imersão, durante quatro dias, em uma solução com concentração de 120 g/l do produto.

Metal	Nitrato de cálcio	Nitrato de amônio	Sulfato de amônio	Uréia	Ácido fostórico	DAP	Solução 17-17-10
Ferro galvanizado	2	4	3	1	4	1	2
Alumínio	0	1	1	0	2	2	1
Aço inoxidável	0	0	0	0	1	0	0
Bronze	1	3	3	0	2	4	4
Latão	1	3	2	0	2	4	4
pH da solução	5,6	5,9	5,0	7,6	0,4	8,0	7,3

Escala: 0 = não; 1 = baixa; 2=moderada; 3=severa; 4=muito severa.

DAP: Diamônio fosfato

Solução: Mistura comercial feita com sulfato de amônio, diamônio fosfato e sulfato de potássio.

Fonte: Martin (1953).

Como pode ser observado na Tabela 3, a uréia é considerada praticamente não corrosiva, atacando levemente o ferro galvanizado, não causando nenhuma alteração no alumínio, aço galvanizado e bronze. No entanto, o sulfato de amônio, na mesma concentração utilizada, pode apresentar uma corrosão considerável no ferro galvanizado e no bronze, e uma pequena corrosão no alumínio e nenhuma corrosão, no aço inoxidável (Martin, 1953). O polietileno e o PVC, principais materiais da irrigação localizadas, também não são atacados pela uréia e sulfato de amônio.

3.3 Procedimentos para o cálculo

Os procedimentos para o cálculo da quantidade de fertilizantes para a aplicação no sistema de irrigação depende do processo de injeção envolvido. No caso da utilização de dispositivos de injeção em que a concentração da solução injetada varia com o tempo, a exemplo do tanque de derivação de fluxo, a sistemática de cálculo é diferente daquela adotada quando a taxa de injeção é mantida invariável ao longo da aplicação, a exemplo dos métodos de injeção por pressão positiva e negativa (Frizzone, 1993). Em ambos os casos é importante estabelecer um limite de concentração da solução na saída dos emissores a fim de controlar a carga de sais a ser aplicada por irrigação.

Por outro lado, é importante também observar que ao se calcular a concentração da solução injetada, deve-se atentar para a carga de sais já existente no solo e na água de irrigação. Isto é especialmente importante na irrigação localizada em culturas perenes de espaçamento relativamente amplo, a exemplo da mangueira, onde apenas uma fração da área de absorção das raízes da planta é irrigada. Nesta situação, se a quantidade de nutrientes for calculada simplesmente em função da área cultivada e sua aplicação realizada de forma localizada, a dosagem aplicada por unidade de área é, na realidade, maior em comparação com o caso, por exemplo, em que a distribuição do adubo é feita na área projeção da copa da planta. É importante destacar que, um desbalanceamento nutricional e uma mudança de pH, na zona de absorção das raízes, mesmo em um espaço de tempo relativamente curto, poderá ser prejudicial para a cultura (Rolston et al. 1986).

Pizarro (1987), recomenda uma concentração de fertilizantes na água de irrigação de até 700 ppm e indica, como intervalo básico de utilização, a faixa de 200 a 400 ppm, especialmente na irrigação por gotejamento onde o perigo de precipitação de produtos químicos na saída dos emissores é maior. No entanto, este autor considera que é possível operar a microaspersão no limite de 700 ppm. Por outro lado, Rolston et al. (1986) recomenda para o gotejamento os limites de concentração dos nutrientes da solução modificada de Hoagland (Tabela 4), indicando que uma concentração de 100 mg/l na água de irrigação resulta em uma aplicação de 300 kg/ha do nutriente para uma lâmina de água total de 300 mm.

TABELA 4. Solução modificada de Hoagland.

Nutriente	Concentração (mg/l)
NO ₃ -N	103
H ₃ PO ₄ -P	30
K	140
Ca	110
Mg	24
SO ₄ -S	32
Fe	2,5
B	0,25
Mn	0,25
Zn	0,025
Cu	0,01
Mo	0,005

Fonte: Rolston et al. (1986).

3.3.1 Concentração variada durante a aplicação

No processo de injeção de fertilizantes através de tanques de derivação de fluxo, a concentração da solução varia de um valor inicial (C_o) para uma concentração menor (C_t) em um dado intervalo de tempo t . A redução desta concentração varia em forma exponencial e pode ser expressa da seguinte forma (Frizzone, 1993):

$$C_t = C_o e^{-x} \quad (7)$$

onde x = a relação entre o volume (V_t) de água que passou pelo tanque no tempo t e o volume do tanque (V); e = a base do logaritmo neperiano de valor igual a 2,718. Esta relação de volume pode ser obtida facilmente, utilizando a seguinte expressão:

$$x = -\ln\left(\frac{C_t}{C_o}\right) \quad (8)$$

Considere, por exemplo, o exercícios seguintes, que demonstram o cálculo da relação de volumes e da taxa de injeção requerida em uma dada aplicação.

Exercício 5: Determine a relação de volumes (x) que deverá passar por um tanque de derivação de modo que a concentração final seja reduzida a 2% da inicial.

Solução: Neste caso basta utilizar a equação (8) para obter:

$$x = -\ln\left(\frac{2}{100}\right) \\ \approx 4 \text{ vezes}$$

ou seja, serão necessários 4 volumes circulando pelo tanque de derivação para reduzir a concentração inicial para 2%. O exercício seguinte ilustra um problema típico de cálculo relacionado com a injeção de produtos químicos em tanque de derivação.

Exercício 6. Determine a vazão que deve circular por um tanque de derivação de 90 l de capacidade para que a concentração da solução caia para 2% da inicial em 30 minutos.

Solução: Considerando que serão necessários 4 volumes (360 l) para reduzir a concentração inicial para 2%, a vazão que deverá circular pelo tanque será igual a 12 l /min (360 l /30 min).

Vale destacar que, o fluxo de água que passa pelo tanque depende da abertura dos registros de controle de entrada e saída e do grau de abertura do registro diferencial de pressão que estrangula a passagem de água na linha de irrigação (Figura 16). A melhor forma para se estabelecer a regulação de uma determinada condição de fluxo requerido é realizar previamente um teste, utilizando somente a água de irrigação e medir a vazão de saída do tanque, através de uma válvula volumétrica, registrando o diferencial de pressão estabelecido, o qual será usado, posteriormente, nas aplicações (Frizzone, 1993). Recomenda-se, também, tomar medidas da condutividade elétrica da solução durante a aplicação para aferir a curva de redução da concentração obtida pela equação exponencial utilizada.

3.3.2 Concentração constante durante a aplicação

Em se tratando da aplicação de produtos químicos, utilizando um dos métodos de injeção constante, Rolston et al. (1986), propõem a seguinte expressão para o cálculo da taxa de injeção, T_i (l/min):

$$T_i = \frac{D_s A}{C_p t_a} \quad (9)$$

onde D_s = dosagem do produto na área irrigada (kg/ha); A = área irrigada durante a aplicação do produto (ha); C_p = concentração do produto no tanque de injeção (kg/l); t_a = tempo de aplicação do produto (min).

No caso da irrigação localizada, empregada em fruteiras de espaçamento amplo, onde a aplicação de água é na realidade efetuada por planta, a fórmula para o cálculo da taxa de aplicação pode ser modificada da seguinte maneira:

$$T_i = \frac{D_p N_p}{C_p t_a} \quad (10)$$

onde D_p = dosagem do produto por planta ($kg/planta$); N_p = número de plantas irrigadas de uma só vez. A aplicação da equação (10) está ilustrada a seguir:

Exercício 7. Suponha que se deseja aplicar 80 gramas de uréia por planta em uma unidade de irrigação contendo 210 mangueiras. Pretende-se aplicar o produto em 30 minutos, utilizando uma concentração de uréia de $0,2 kg/l$ no tanque de injeção. Determine a taxa de injeção e o volume de água necessário para diluição do fertilizante.

Solução: Em primeiro lugar calcula-se a taxa de injeção, utilizando a equação (10), da seguinte forma:

$$T_i = \frac{(0,08 \text{ kg / planta}) (210 \text{ plantas})}{(0,2 \text{ kg / l}) (30 \text{ min})}$$
$$= 2,8 \text{ l / min}$$

Nesta taxa de injeção, serão necessários 84 l ($=2,8 \text{ l / min} \times 30 \text{ min}$) de solução para realizar esta aplicação.

Na irrigação localizada, e, em especial, no gotejamento, é necessário limitar a concentração do produto ou seu princípio ativo na água de irrigação, para evitar efeitos indesejáveis, seja para o solo, as plantas, o ambiente ou o sistema de irrigação. Concentrações elevadas de sais podem, por exemplo, resultar em precipitados insolúveis que gradativamente produzem entupimento dos emissores. Por estes motivos, recomenda-se dimensionar os valores das variáveis envolvidas no cálculo da fertirrigação a partir da concentração limite na água de irrigação. Neste caso, a equação (10) pode ser modificada para a seguinte expressão:

$$Q_p = \frac{D_i Q_i V}{10^6 T_i} \quad (11)$$

onde D_i = concentração do produto (mg / l); Q_i = vazão do sistema de irrigação (l / min); V = volume de água no tanque de injeção (l); T_i = taxa de injeção (l / min). O problema proposto no exercício seguinte demonstra a aplicação da equação (11) para o cálculo da quantidade de um dado fertilizante a ser colocado no tanque de mistura.

Exercício 8. Determine a quantidade de uréia a ser diluída em 200 l de água para resultar numa concentração de 100 ppm ($=100 \text{ mg / l}$) do produto na água de irrigação. Sabe-se

que a vazão do sistema é de 400 l/min e a taxa de injeção está regulada em 2 l/min .

Solução: O resultado pode ser obtido usando diretamente a equação (11):

$$Q_p = \frac{(100 \text{ mg/l}) (400 \text{ l/min}) (200 \text{ l})}{10^6 (2 \text{ l/min})}$$
$$= 4 \text{ kg}$$

Vale salientar que a razão entre a capacidade do sistema de irrigação e a capacidade de injeção da bomba representa o fator de diluição da solução armazenada. Por exemplo, no exercício anterior, o fator de diluição é igual a 200 ($=400/2$), de forma que a concentração do produto na água de irrigação será diluída em 200 vezes. É importante também ressaltar que a quantidade calculada do produto deve ser compatível com sua solubilidade (Tabela 2). Por exemplo, a uréia pode ser diluída em até 78 kg por 100 litros de água fria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A irrigação por microaspersão na cultura da manga constitui-se em uma das alternativas mais adequadas para a distribuição de água na área de influência de absorção das raízes da planta. Por outro lado, a aplicação de água de forma controlada, utilizando a tensiometria, pode ser adotada com sucesso para o manejo da irrigação nas fases de desenvolvimento e produção da cultura. Além disso, a microaspersão também pode ser usada com o duplo propósito de aplicar água e produtos químicos, como fertilizantes e herbicidas, re-

duzindo os custos com mão-de-obra e aumentando a eficiência de utilização destes materiais através do método da fertirrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J.C. Controle da qualidade de fertilizantes fluídos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.167-187.
- ALVES, D.N.B; FARIA, M.A.; LIMA, L.A.; SILVA, A.M. da. Desempenho da bomba injetora e do tanque de derivação de fluxo na aplicação de cloreto de potássio em microaspersores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993 Ilhéus. **Anais**. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p. 2586-2597.
- AVILAN, L.; MENESES, L. Efecto de las propiedades físicas del suelo sobre la distribución de las raíces del mango (*Mangifera indica* L.). **Turrialba**, v.29, n.2, p.117-122, 1979.
- AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. da; RESENDE, M.; GUERRA, A.F. **Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1983, 52p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).
- BOJAPPA, A.; SINGH, R.N. Root activity of mango radiotracer technique using ³²P. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.44, n.4, p.175-180. 1974.
- BOUYOUCOS, G.J.; MICK, A.H. Improvements in plaster of Paris absorption block electrical resistance method for measuring soil moisture under field condition. **Soil Science**, v.63, p.455-465. 1947.

- BOWMAN, R.S.; NAKAYAMA, F.S. Design principles - salt distribution. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.117-163. (Development in Agricultural Engineering, 9)
- BRESLER, E. Trickle-drip irrigation: principles and application to soil-water management. **Advances in Agronomy**, v.29, p.344-393, 1977.
- BUCKS, D.A.; DAVIS, S. Introduction-historical development. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design: operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986, p.1-21. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- CHACKO, E.K. Physiology of vegetative and reproductive growth in mango (*Mangifera indica* L.) trees. In: AUSTRALIAN MANGO RESEARCH WORKSHOP, 1, 1986. Melbourne, Australia. **Proceedings**. Melbourne: CSIRO, 1986. p.54-71.
- CHOUDHURY, E.M.; SOARES, J.M.; CASTRO NETO, M.T. **Estresse hídrico em mangueira a nível de propriedade**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, [s.d.]. (Mimeografado).
- CHOUDHURY, E.M.; SOARES, J.M. Comportamento do sistema radicular de fruteiras irrigadas. I. Mangueira em solo arenoso sob irrigação por aspersão sobcopa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.14, n.3, p.169-176, 1992.
- COSTA, E.F.; FRANÇA, G.E.; ALVES, V.M.C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n.139, p.63-68, 1986.
- DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. [s.l.]. International Irrigation Information Center, 1985. 95p.

- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1984. 144p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FARRÉ, J.M.; HERMOSO, J.M. Mulching and irrigation effects on growth, cropping and fruit quality of the mango cv. Sensation. **Acta Horticulture**, v.341, p. 295-302, 1993. (Mango IV)
- FRIZZONE, J.A. Métodos de aplicação de fertilizantes na água de irrigação. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.211-230.
- GLOBBELAR, D.; GORNAT, B.; RIMON, D. **Drip irrigation: principles, design and agricultural practices**. [s.l.]: Drip Irrigation Scientific Publ, 1976. 296p.
- GOLDBERG, D.; SHMUELI, M. Drip irrigation. A method used under arid and desert conditions of high water and soil salinity. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v.13, p.38-41, 1970.
- HAISE, R.H.; HAGAN, R.M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R.; EDMINSTER, T.W. eds. **Irrigation of agricultural lands**. Madison: ASAE, 1967. p.577-604. (Agronomy Series, 11).
- HEERMANN, D.F.; MARTIN, D.L.; JACKSON, R.D.; STEGMAN, E.C. Irrigation scheduling controls and techniques. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. eds. **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASAE, 1990. p.509-535. (Agronomy Series, 30).
- HILGEMAN, R.H.; REUTHER, W. Evergreen tree fruits. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T.W. eds. **Irrigation of agricultural lands**. Madison: ASAE, 1967. p.704-718. (Agronomy Series, 11).

- HOLMAN, H. Fertilizer and chemical injection for irrigation systems. **Citrus & Vegetable Magazine**, Tampa, v. 41, n.7, p.26-28, 46, 1978.
- IDSO, S.B; CLWSON, K.L.; ANDERSON, M.G. Foliage temperature: effects on environmental factors with implications for plant water stress assessment and the CO₂/climate connection. **Water Resource Research**, v.22, p.1702-1716, 1986.
- JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. **Advances in Irrigation**, v. 1, p.43-85, 1982.
- JAMES, L. G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: Wiley, 1988. 543p.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora, CA: Rain Bird Sprinkler, 1975. 133p.
- LARSON, K.D.; SCHAFFER, B. Effect of irrigation on leaf water potential, growth and yield of mango trees. **Proceedings of Florida State Horticulture Science**, v. 102, p.226-228. 1989.
- MARTIN, W.E. 1953. Do fertilizer ruin sprinkler systems? In: IRRIGATION SPRINKLER CONFERENCE, 1993, Davis, CA. **Proceedings**. Davis: University of California, 1953. p.45-50.
- MEDERSKI, H.J. Determination of internal water status of plants by beta ray gauge. **Soil Science**, v.92, p.143-146, 1961.
- MERRIAM, J.; KELLER, J.; ALFARO, J. **Irrigation system evaluation and improvement**. Logan: Utah State University, 1973. 172p.
- PAIR, C.H; HINZ, W.W.; REID, C.; FROST, K.R. **Sprinkler irrigation**. Silver Spring, MA: Sprinkler Irrigation Association, 1975. p.395-416.

- PHENE, C.J. Operational principles: automation. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986, p.188-279. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- PINTO, A.C. de Q. Instalação do viveiro de mudas. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina-DF). **Curso Intensivo para Viveiristas e Entortadores de Fruteiras na Região dos Cerrados do DF e Entorno**. Planaltina. 1994a. p.1-10 (Apostila).
- PIZARRO, F. **Riego localizado de alta frecuencia**. Madrid: Mundi-Prensa, 1987. 461p.
- RICHARDS, L.A.; GARDNER, W. Tensiometers for measuring the capillary tension of soil water. **Journal of American Society of Agronomy**, v.28, p.352-358, 1936.
- RICHARDS, L.A.; OGATA, G. Thermocouple for vapor pressure measurement in biological and soil systems at high humidity. **Science**, v.128, p.1089-1090, 1958.
- RICHARDS, S.J.; MARSH, A.W. Irrigation based on soil suction measurements. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.25, p.65-69, 1961.
- ROLSTON, D.E., MILLER, R.J.; SCHULBACH, H. Management principles: fertilization. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986, p.317-344. (Development in Agricultural Engineering, 9)
- SCALOPPI, E.J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.54-62, 1986.

- SHANI, M. **La fertilizacion combinada com el riego.** [s.l.]: Ministério de Agricultura, 1981, 36p.
- SHAW, B.; BAVER, L.D. An electrothermal method for following moisture changes of the soil in situ. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.4, p.78-83, 1939.
- SOARES, J.M.; COSTA, F.F. da. **Irrigação da cultura da mangueira.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA. [s.d.]. 47p.
- SOARES, J.M.; NASCIMENTO, T.; FARIA, P.C. **Avaliação do bulbo molhado e do sistema radicular de fruteiras nas áreas irrigadas do Submédio São Francisco sob irrigação por gotejamento.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA. (s.n.t).
- SOARES, J.N.; NASCIMENTO, T.; CHOUDHURY, E.N.; CORDEIRO, G.G. **Monitoramento do manejo de água na cultura da mangueira (*Mangifera indica* L.) a nível de propriedade.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA [s.n.t].
- SOUSA, A. de P.; SOUSA, V.F. Fertirrigação: princípio e métodos de aplicação, vantagens e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais.** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p. 2519-2527.
- TATT, O.H. Climatic changes in water balance and their effects on tropical flowering. **Planter**, v.52, p.174-179, 1976.
- THOMPSON, G.T.; PROSSER, W.A.; KRIDER, J.N. Farm resources and system selection. In: JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation systems.** St. Joseph, MI: ASAE, 1983. p.45-73. (Monograph, 3).

- VAN-GENUTCHEN, M Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.
- VITTI, C.G.; BOARETTO, A.E.; PENTEADO, S.R. Fontes de fertilizantes e fertirrigação. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 232-256.
- WARRICK, A. W. Design principles: soil water distribution. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.93-116. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- WHILEY, A.W. Environmental effects on phenology and physiology of mango - a review. **Acta Horticultural**, v.341, p.168-176, 1993. (Mango IV).
- WIERSMA, J.L. Sprinkler irrigation systems + fertilizer=fertirrigation. **Farm & Home Research**, v. 20, n.1, p.5-8, 1969.
- WITTEWER, A.N. Research strategies applied to scheduling of mangoes irrigation. **Yearbook. South African Mango Growers' Association**, v.11, p.6-8, 1991.