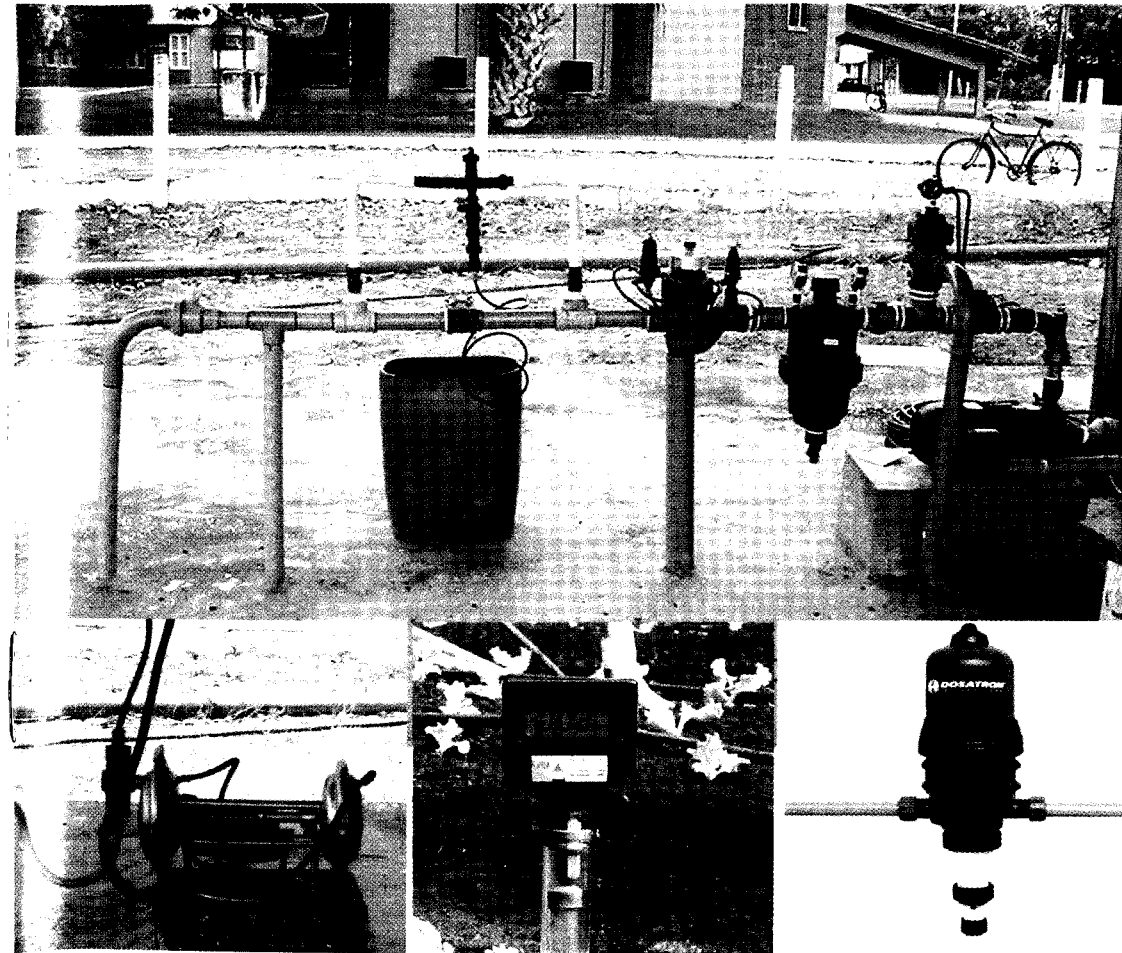




## Fertirrigação: Aplicação e manejo de água e fertilizantes em cultivos irrigados



Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**

*Fernando Henrique Cardoso*  
Presidente

**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

*Marcus Vinícius Pratini de Moraes*  
Ministro

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Conselho de Administração**

*Márcio Fortes de Almeida*  
Presidente

Alberto Duque Portugal  
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast  
José Honório Accarini  
Sérgio Fausto  
Urbano Campos Ribeiral  
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa  
Alberto Duque Portugal  
Diretor-Presidente

*Dante Daniel Giacomelli Scolari*  
*Bonifácio Hideyuki Nakasu*  
*José Roberto Rodrigues Peres*  
Diretores

**Embrapa Meio-Norte**

*Maria Pinheiro Fernandes Corrêa*  
Chefe-Geral

*Hoston Tomás Santos do Nascimento*  
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Sérgio Luiz de Oliveira Vilela  
Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios

*João Erivaldo Saraiva Serpa*  
Chefe-Adjunto Administrativo

**Embrapa**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 0104-9046

Dezembro, 2002

**Documentos**

**Fertirrigação: Aplicação e manejo de  
água e fertilizantes em cultivos irrigados**

Valdemício Ferreira de Sousa  
Walesca Martins Eloi  
Eugênio Ferreira Coelho

Teresina, PI  
2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Meio-Norte**

Av. Duque de Caxias, 5650, Buenos Aires  
Caixa Postal 01  
CEP. 64006-220  
Teresina, PI,  
Fone: (86) 225-1141  
Fax: (86) 225-1142.  
Home page: [www.cpamn.embrapa.br](http://www.cpamn.embrapa.br).  
Vendas: [sac@cpamn.embrapa.br](mailto:sac@cpamn.embrapa.br).

**Comitê de Publicações**

**Presidente:** Valdenir Queiroz Ribeiro  
Secretária executiva: Ursula Maria Barros de Araújo  
Membros: Expedito Aguiar Lopes, Maria do Perpétuo Socorro Cortez Bona do Nascimento, Edson Alves Bastos, Milton José Cardoso e João Avelar Magalhães

**Supervisor editorial:** *Ligia Maria Rolim Bandeira*

**Revisor de texto:** *Francisco David da Silva*

**Normalização bibliográfica:** *Orlane da Silva Maia*

**Diagramação eletrônica:** *Erlândio Santos de Resende*

**Foto da capa:** *Valdemício Ferreira de Sousa*

**1ª edição**

**1ª impressão** (2002): 300 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Meio-Norte

---

Sousa, Valdemício Ferreira de.

Fertirrigação : aplicação e manejo de água e fertilizantes em cultivos irrigados/  
Valdemício Ferreira de Sousa, Waleska Martins Eloi, Eugênio Ferreira Coelho -  
Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2002.

68 p. : il. ; 21 cm. - (Embrapa Meio-Norte. Documentos; 71).

1. Manejo de água. 2. Agricultura irrigada. I. Eloi, Waleska Martins. II. Coelho, Eugênio Ferreira. III. Embrapa Meio-Norte. IV. Título, V. Série.

---

CDD 631.587 (21. ed.)

© Embrapa 2002

## Autores

**Valdemício Ferreira de Sousa**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem,  
Embrapa Meio-Norte,  
Av. Duque de Caxias, 5650; CEP 64006-220  
Teresina, PI.  
Endereço eletrônico: [vfsousa@cpamn.embrapa.br](mailto:vfsousa@cpamn.embrapa.br)

**Waleska Martins Eloi**

Mestranda do Curso de Irrigação e Drenagem da UFC e  
Bolsista da FUNCAP.  
Endereço eletrônico: [waleskaeloi@msn.com](mailto:waleskaeloi@msn.com)

**Eugênio Ferreira Coelho**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D em Irrigação e Drenagem  
Embrapa Mandioca e Fruticultura, Caixa Postal 007,  
CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA.  
Endereço eletrônico: [ecoelho@cpnmpf.embrapa.br](mailto:ecoelho@cpnmpf.embrapa.br)

## Apresentação

Na agricultura irrigada, a maximização dos recursos hídricos e o aumento da produtividade não se dão apenas com o fornecimento de água pela irrigação às culturas. A correção da fertilidade do solo é extremamente importante numa agricultura altamente produtiva e competitiva. No agronegócio da agricultura irrigada, o fornecimento adequado e eficiente de fertilizantes químicos às culturas é uma prática necessária; contudo, deve ser realizada com critérios técnicos adequados, a fim de atender as exigências econômicas, sociais e ambientais.

A necessidade da utilização intensiva de água e fertilizantes nos cultivos irrigados leva os agricultores a adotarem a fertirrigação como uma técnica capaz de aplicar os fertilizantes simultaneamente com a água de irrigação. A nível de agricultor, a utilização da fertirrigação proporciona o aumento da eficiência no uso da água e fertilizantes, e constitui um importante fator para aumentar a produção agrícola e evitar danos ambientais, dando o enfoque de sustentabilidade da agricultura irrigada.

A expansão das áreas irrigadas no Brasil, principalmente com a fruticultura na região Nordeste, tem demandado o uso de tecnologias de produção apropriadas para cada ambiente e cultura. A fertirrigação e a irrigação localizada, gotejamento e microaspersão, vêm cada vez mais fazendo parte do contexto da fruticultura e horticultura irrigada no país, o que tem demandado informações tecnológicas e capacitação de técnicos e produtores sobre as tecnologias nessa área.

Neste documento propõe-se disponibilizar informações sobre as práticas de manejo de água e nutrientes em culturas irrigadas, com ênfase à fertirrigação, envolvendo os aspectos relacionados com os métodos e equipamentos de injeção de fertilizantes, manejo de nutrientes e dinâmica de íons no solo e seus efeitos no sistema solo-planta.

Maria Pinheiro Fernandes Corrêa  
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

# Sumário

<b>Fertirrigação: Aplicação e manejo de água e fertilizantes em cultivos irrigados</b> .....	9
<b>Introdução</b> .....	9
Manejo de água .....	11
Como irrigar .....	12
Necessidades hídricas (quanto irrigar) .....	14
Momento da irrigação e monitoramento da água no solo...17	
Medidas no solo .....	18
Medidas na planta .....	24
Balanço de água na zona radicular .....	25
Aplicação e manejo de nutrientes: Fertirrigação .....	26
Princípios e aplicação da fertirrigação .....	26
Sistemas de injeção de fertilizantes .....	27
Transformação de energia .....	27
Diferencial de pressão .....	31
Tanque de derivação de fluxo .....	31
Pressão negativa.....	34
Pressão positiva .....	35
Doses de nutrientes .....	39
Distribuição e frequência de aplicação de nutrientes .....	45
Preparo e aplicação da solução .....	48
Dinâmica de nutrientes no solo .....	51
Dinâmica do nitrogênio no solo .....	53

Dinâmica de potássio no solo .....	54
Dinâmica de fósforo no solo.....	56
Monitoramento do movimento de nutrientes no solo .....	57
<b>Considerações Finais</b> .....	60
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	61

# Fertirrigação: Aplicação e manejo de água e fertilizantes em cultivos irrigados

*Valdemício Ferreira de Sousa*

*Waleska Martins Eloi*

*Eugênio Ferreira Coelho*

## Introdução

O constante crescimento da população humana tem exigido dos governos maiores investimentos para aumentar a produção de alimentos e bens de consumo no mundo inteiro. Por outro lado, depara-se com os contrastes em razão da escassez e limitações dos recursos naturais "terra e água", indispensáveis à agricultura, o que, na maioria das vezes, não permitem a expansão das áreas cultivadas. A solução para esse impasse, bem como o aumento da produção de alimento suficiente para suprir a demanda da população, deverá ocorrer por meio da utilização de tecnologias capazes de maximizar esses recursos e elevar os rendimentos das culturas exploradas. Isso só é possível com a prática de uma agricultura tecnicamente intensiva, em que a utilização da irrigação e de fertilizantes químicos torna-se necessária. Nesse contexto, o emprego dos sistemas de irrigação e o uso do manejo adequado do solo, água, culturas e nutrientes são pontos importantes a serem considerados no aumento da produção agrícola e na preservação ambiental.

Em virtude da sua limitação e forma de captação e condução, em agricultura irrigada, a água, isoladamente, pode ser considerada o insumo que mais onera o sistema de produção (Sousa, A.P. & Sousa, V.F. de, 1993). Isso exige dos agricultores a compreensão de que o importante não é apenas o manejo da água, mas o manejo da cultura irrigada. Além dos cuidados com a irrigação, o manejo da cultura irrigada deve envolver os aspectos nutricionais, fisiológicos, fitotécnicos e fitossanitários. Dessa forma, não se podem conceber elevados

investimentos em estruturas de captação e condução de água para irrigação sem se preocupar com o manejo da cultura, que é o objeto-fim do sistema de produção.

Na agricultura irrigada, a maximização dos recursos naturais e o aumento da produtividade não se dão apenas com o fornecimento de água às culturas. A elevação dos níveis de fertilidade do meio onde as plantas se desenvolvem é extremamente importante numa agricultura altamente produtiva (Sousa & Andrade Júnior, 1999). Na agricultura auto-sustentável e lucrativa, o fornecimento adequado e eficiente de fertilizantes químicos às culturas é uma prática que não deve ser excluída. Quando aplicados em quantidade e forma adequada, esses produtos trazem muitos benefícios para a agricultura moderna (Raj, 1987).

A necessidade de utilização efetiva e eficiente da água e fertilizantes leva os agricultores a adotarem uma técnica conjunta capaz de aplicar água e fertilizantes de forma simultânea. O aumento da eficiência no uso da água e fertilizantes pelo agricultor constitui um fator importante para aumentar a produção agrícola e evitar danos ambientais, tornando sustentável a agricultura irrigada, pois nenhum projeto de irrigação pode ser sustentável se não for lucrativo, e lucratividade em agricultura irrigada depende muito do uso e manejo adequado de fertilizantes (Papadopoulos, 1999).

A aplicação de fertilizantes, simultaneamente, com a água de irrigação às culturas tem grande importância, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Essa técnica constitui um avanço da agricultura irrigada, pois seu uso está relacionado com uma série de vantagens econômicas quando comparadas com os métodos tradicionais de adubação, requerendo, portanto, maior capacitação de técnicos e agricultores (Burt et al. 1998; Lopez, 1998).

Pode-se utilizar qualquer método de irrigação para aplicar fertilizantes. Todavia, os sistemas pressurizados de irrigação são os mais indicados, sendo que, dadas suas características e forma de aplicação de água pontual junto à zona de concentração das raízes das plantas, destaca-se a irrigação por gotejamento como a mais adequada para aplicar fertilizantes.

Dependendo dos tipos de cultura e características de solo e água, a fertirrigação pode ser empregada em várias situações. Em qualquer um dos casos, trata-se de

exportações intensivas de nutrientes em que a água como recurso limitado deve ser utilizada com a máxima eficiência possível. As características de solos e de cultura permitem determinar tanto o método ou o sistema de irrigação como as doses de fertilizantes mais adequadas.

O princípio de aplicação da fertirrigação preconiza o uso de fertilizantes solúveis em água e de equipamentos específicos para injetar a solução nas linhas de irrigação. Essa característica permite uma aplicação adequada e uniforme de fertilizantes com a água de irrigação (Sousa, A. P. & Sousa, V. F. 1993). Além disso, permite também o acompanhamento e controle dos nutrientes no perfil do solo e seus efeitos na interface solo, água e cultura.

O manejo adequado da fertirrigação pode proporcionar o aumento da produtividade, com ótima qualidade dos produtos. Resultados de pesquisa em áreas de produção com o meloeiro na região Nordeste, por exemplo, têm mostrado que a fertirrigação proporciona aumento de até 100%, com frutos de padrão de qualidade para atender aos mercados mais exigentes. Todavia, é preciso investir em pesquisa e difusão de tecnologias capazes de colocar ao alcance dos produtores as melhores condições para o uso racional dessa tecnologia.

Este trabalho tem como objetivos apresentar as práticas de manejo de água e nutrientes em cultivos irrigados extensivos, com ênfase à fertirrigação, envolvendo os aspectos relacionados com os sistemas e equipamentos de injeção de fertilizantes, manejo de nutrientes e dinâmica de íons no solo e seus efeitos no solo e nas plantas.

## Manejo de água

O manejo da água em culturas irrigadas tem como ponto chave decidir como, quanto e quando irrigar. A questão de "como irrigar" é definida pelo método ou sistema de irrigação selecionado. "Quanto irrigar" ou a quantidade de água a ser aplicada é, normalmente, determinada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através da evapotranspiração ou por meio da tensão de água no solo. Para se determinar o momento da irrigação, além dos parâmetros mencionados anteriormente, podem-se utilizar outras medidas de avaliação de

água no solo, como o turno de rega, ou considerar os sintomas de deficiência de água nas plantas. Após determinar a necessidade de água da cultura, a quantidade a ser aplicada por irrigação requer o conhecimento da precipitação pluviométrica e da ascensão capilar (Sousa et al., 1997).

Vários são os processos encontrados na literatura, que permitem estabelecer o manejo de irrigação. Entretanto, qualquer que seja o método, seu uso necessita de um mínimo de instrumentos e informações para possibilitar a execução de um manejo racional de água, os quais nem sempre estão disponíveis aos interessados.

## Como irrigar

Com relação à forma de irrigar, não existe um método de irrigação ideal para qualquer situação. A escolha do método a ser utilizado deverá ser o produto final, após analisados todos os fatores produtivos que envolvem a cultura a ser irrigada. Entretanto, em virtude da preocupação, no plano mundial, com a questão do gerenciamento, conservação e economia dos recursos hídricos, tem-se recomendado, para a grande maioria das culturas intensivas, como no caso das fruteiras, o uso do método de irrigação localizada, por ser mais eficiente na aplicação de água e de fertilizantes nas mais diversas condições ambientais (Nogueira et al., 1998).

A irrigação localizada destaca-se na fruticultura nacional como um dos métodos de maior sintonia com a nova Lei de Recursos Hídricos, pois utiliza a água com maior eficiência, permitindo um melhor controle da lâmina aplicada. Os sistemas de irrigação localizada mais utilizados têm sido por gotejamento e por microaspersão. O sistema de gotejamento é o de maior eficiência e de menor demanda de energia, embora seja de elevado custo inicial. A restrição de seu uso para culturas de grande porte se deve à menor área molhada aparente na superfície do solo, entretanto, se o sistema é adequadamente dimensionado, a área molhada resultante deve permitir adequado desenvolvimento do sistema radicular. Nas culturas arbóreas, como algumas frutíferas, a irrigação por gotejamento vem sendo utilizada com sucesso. As disposições mais recomendadas dos gotejadores são: distribuídos igualmente, espaçados em forma de círculo ou semicírculo (Fig. 1 e 2a) em torno da planta ou dispendo-os

em posições diferentes ao redor da planta usando-se ramificações (Fig. 2b). Dependendo do espaçamento da cultura, os gotejadores podem ser distribuídos em uma única linha junto ao tronco das plantas ou em duas linhas paralelas, uma em cada lado das plantas.

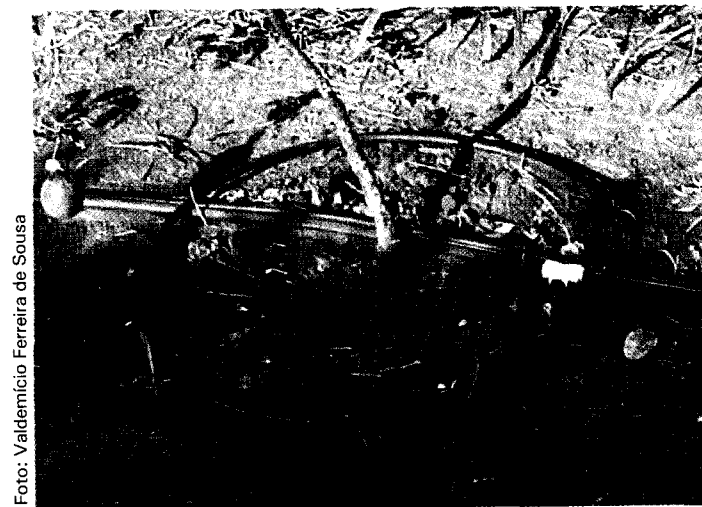


Fig. 1. Detalhe da distribuição de gotejadores em forma de círculo em torno da planta.

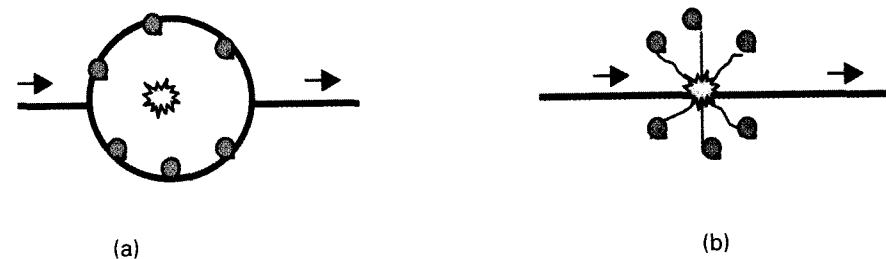


Fig. 2. Disposição mais recomendada dos gotejadores em culturas de médio e grande porte.

O sistema de microaspersão promove uma área molhada aparente na superfície do solo superior à gerada por um sistema de irrigação por gotejamento. Os microaspersores apresentam vazões entre 15 e 200 L h<sup>-1</sup>, operando com



pressões na faixa de 80 a 350 kPa. Existem vários tipos de microaspersores, com variados padrões de molhamento, desde um círculo completo de 360° a um quarto de círculo de 90°. Há também microaspersores com dispositivos que permitem aumentar o raio de ação durante o desenvolvimento da cultura, em que se mantém um raio inferior a 1 m nos primeiros dois anos, expandindo-se a partir de então.

Dependendo da posição da altura da copa da planta em relação à superfície do solo, os jatos emitidos pelo microaspersor podem ser interceptados pelas folhas reduzindo a uniformidade de distribuição do sistema. Para determinadas culturas, como mamão e citros, bastante susceptíveis a doenças como a gomose, a utilização da irrigação por microaspersão só é recomendada com microaspersores setoriais, para evitar que a água de irrigação molhe o tronco das plantas.

O método de irrigação por aspersão, que compreende basicamente os sistemas convencional, autopropelido e pivô central, é utilizado para irrigar plantas de grande porte. Entretanto, em razão da sua forma de aplicação de água, para algumas culturas e em determinadas fases do ciclo vegetativo, sua utilização deve ser evitada. Apesar de menor custo de aquisição quando comparado com os sistemas localizados e considerando uma mesma área e cultura, a quantidade de água utilizada é bem maior do que na irrigação por gotejamento.

O método de irrigação por superfície, caracterizado pelos sistemas de sulcos de infiltração, faixas de inundação e inundação, exige nivelamento da área para condução da água e grande volume desta, em virtude da baixa eficiência de irrigação. Apesar de ser utilizado para irrigar pomares, principalmente por sulco, nesse caso a aplicação de fertilizantes via água de irrigação torna-se inviável.

## Necessidades hídricas (quanto irrigar)

O consumo de água pelas plantas normalmente se refere a toda a água transpirada por meio dos estômatos e evaporada da superfície do solo, mais a água retida nos tecidos vegetais. Esse processo era denominado uso consuntivo (Jensen, 1973). Como da água absorvida a planta retém apenas em torno de 1 a 2%, esse consumo passou a ser determinado somente pela evaporação direta da superfície do solo e da transpiração das plantas. O processo de perda

simultânea de água do solo e das plantas para a atmosfera é denominado evapotranspiração (Thornthwaite, 1948). Posteriormente, Tunner (1967) generalizou mais o termo, definindo como sendo a conversão da água líquida existente na superfície da terra para a forma de vapor e sua mistura com a atmosfera.

A necessidade de água das culturas pode ser determinada pela evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), que resulta dos processos de evaporação da água do solo, somados ao processo de transpiração das plantas. A ET<sub>c</sub> pode ser determinada de forma direta ou indireta. Dentre os métodos de medida direta da ET<sub>c</sub>, os lisímetros destacam-se por oferecer o maior nível de precisão segundo Pereira et al. (1997), porém, em razão dos inconvenientes e custos de instalação dos lisímetros, é comum utilizarem-se métodos empíricos para estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e corrigi-los por um coeficiente específico para cada cultura, denominado coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) representado pela relação entre ET<sub>c</sub> e ET<sub>o</sub>, conforme Jensen (1968), que varia com a cultura e seu estágio de desenvolvimento vegetativo. Os valores de K<sub>c</sub> dependem da taxa de evapotranspiração potencial ou de referência e do conteúdo de umidade com que o solo é mantido.

Assim, conhecendo os valores de K<sub>c</sub> e da ET<sub>o</sub>, o cálculo da quantidade de água necessária para a cultura (ET<sub>c</sub>) é feito pela equação 1.

$$ET_c = ET_o K_c \quad (1)$$

Um dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência mais simples, de baixo custo e de fácil manuseio ao nível de campo é o do Tanque Classe A. Esse método pode ser utilizado pelos produtores com bastante precisão nas áreas irrigadas. Para se calcular a evapotranspiração de referência por meio do Tanque Classe A, é necessário utilizar o coeficiente do tanque K<sub>p</sub> (Tabela 1), que varia de acordo com a velocidade do vento, bordadura e a umidade relativa do ar. Assim, aplica-se a equação 2.

$$ET_o = ECA K_p \quad (2)$$

em que: ECA - evaporação no Tanque Classe A (mm dia<sup>-1</sup>); K<sub>p</sub> - coeficiente do tanque.

Tabela 1. Valores do coeficiente de Kp em função dos dados meteorológicos da região e do meio em que está instalado.

Vento (km/dia)	Posição do tanque R (m)*		Exposição A Tanque circundado por grama UR % (média)		Posição do tanque R (m)*		Exposição B Tanque circundado por solo nu UR % (média)		
	Baixa <40	Média 40-70	Baixa <40	Média 40-70	Baixa <40	Média 40-70	Baixa <40	Média 40-70	Alta >70
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,75	0,80	0,70	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,85	0,70	0,60	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,85	0,65	0,55	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,85	0,60	0,50	0,70
Moderado 175-425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,65	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,75	0,65	0,55	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,80	0,60	0,50	0,65
Forte 425-700	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,80	0,55	0,45	0,60
	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,60	0,80
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,65	0,55	0,50	0,70
Muito forte >700	100	0,60	0,65	0,75	100	0,75	0,45	0,45	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,75	0,40	0,40	0,55
	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,50	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,60	0,45	0,45	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,65	0,40	0,40	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,65	0,35	0,40	0,45

\*Doorenhos & Pruitt (1977).

O Kc é função da cultura, estágio de desenvolvimento, velocidade do vento, umidade relativa e teor de água do solo, de acordo com Doorenbos & Kassam (1979) e Allen (1992), sendo determinado experimentalmente por meio do balanço hídrico realizado com lisímetros.

São poucos os trabalhos de pesquisa desenvolvidos para determinar coeficientes de cultivo para as fruteiras, necessitando, na maioria das vezes, fazer aproximações com resultados de outras culturas provenientes de outras regiões. A Tabela 2 apresenta valores médios de Kc para algumas fruteiras. Quando possível, devem-se utilizar resultados determinados na própria região, todavia, na ausência desses, pode-se fazer uso dos valores da tabela citada, sempre com cuidados.

Tabela 2. Valores médios de coeficiente de cultivo (Kc) para algumas fruteiras.

Cultura	Meses/Valores de Kc											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Acerola <sup>(1)</sup>	1,40	-	-	-	-	-	-	0,80	1,30	1,50	1,50	1,40
Banana <sup>(2)</sup>	-	-	0,50	0,45	0,50	0,60	0,75	0,95	1,10	1,15	1,15	1,10
Citros <sup>(2)</sup>	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80
Maracujá <sup>(3)</sup>	-	-	-	-	0,38	0,28	0,20	0,66	1,05	1,08	1,24	-
Uva <sup>(2)</sup>	-	-	0,25	0,45	0,66	0,75	0,75	0,70	0,50	0,45	0,35	-

<sup>(1)</sup>Fortaleza, CE (Bezerra et al., 1997); <sup>(2)</sup>(Doorenbos & Pruitt, 1977); <sup>(3)</sup>Piracicaba, SP (Sousa et al., 2000)

### Momento da irrigação e monitoramento da água no solo

Os métodos de determinação do momento de irrigação são constituídos por: a) medidas no solo; b) medidas nas plantas; c) balanço de água na zona radicular.

As tecnologias de manejo de irrigação não são fáceis de ser absorvidas pelos agricultores, sendo que as principais razões são: a) baixo custo da água em

relação aos custos necessários à implementação de um dado manejo de irrigação; b) as reduções de produtividades causadas por excesso ou deficit de água no solo ou por aplicação de fertilizante de forma inadequada, não são facilmente reconhecidas e quantificada, pelos produtores; c) falta de disponibilidade de dados para uso nos cálculos do manejo da água, solo, planta e atmosfera; d) falta de treinamento de irrigantes e técnicos.

### Medidas no solo

Considerando que o solo funciona como um suporte físico e reservatório para as plantas, no planejamento da irrigação e no manejo de água, é importante o conhecimento das suas propriedades as quais determinam a umidade e a capacidade de água disponível.

Para determinar a água disponível, é preciso conhecer: a) a umidade na capacidade de campo; b) a umidade no ponto de murcha; c) a densidade do solo; d) a profundidade efetiva do sistema radicular; e) a fração de água disponível; f) a curva de retenção de água no solo.

$$\theta_{ad} = \theta_{cc} - \theta_{pmp} \quad (3)$$

em que:  $\theta_{ad}$  - água disponível ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_{cc}$  - umidade do solo na capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_{pmp}$  - umidade do solo no ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

A água disponível no solo, em termos unidimensionais ou em termos de milímetros disponíveis às plantas, depende da profundidade efetiva do sistema radicular. A literatura oferece valores de profundidade do sistema radicular para algumas culturas (Tabela 3), entretanto, é necessário sempre ponderar tais valores, uma vez que o desenvolvimento do sistema radicular num perfil sem limitação de profundidade ou de presença de lençol freático é dependente, principalmente, da resistência do solo. Esta última está relacionada às propriedades edáficas do solo e do seu teor de água, que em caso de fruteiras depende da distribuição de água no solo, consequência da irrigação.

**Tabela 3.** Valores de profundidade efetiva de raízes para algumas fruteiras.

Cultura	Profundidade raízes (m)	
	Total (100%)	Prof. efetiva (>60%)
Abacaxi	<0,85	0,3 - 0,6
Abacate	1,8	0,6
Banana	<1,0	0,5
Mamão	0,3 - 0,6	-
Manga	>1,8	0,5 - 1,2
Citros	1,2 - 1,5	0,9
Maracujá	0,3 - 0,45	-

Conhecendo-se a profundidade efetiva do sistema radicular, a água disponível no solo para as plantas passa a ser, portanto:

$$LI = \theta_{ad} f \quad (4)$$

$$\theta_{ad} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) Z_R \quad (5)$$

em que:  $Z_R$  - profundidade efetiva do sistema radicular (mm)

A fração de água disponível (f) no solo corresponde à redução permissível do seu teor de água abaixo da capacidade de campo, que permita uma produtividade desejável da cultura. A faixa de manejo adotada depende da rentabilidade da cultura, profundidade e distribuição das raízes e sensibilidade ao estresse. Normalmente, a redução permissível da água disponível varia de 25% a 50%. A Tabela 4 apresenta valores médios da fração f para algumas fruteiras.

**Tabela 4.** Fração de água disponível no solo para algumas fruteiras.

Cultura	F (%)
Banana	35
Citros	50
Manga	50
Maracujá	35
Goiaba	50
Abacate	50
Abacaxi	50

A partir do valor da fração, o cálculo da quantidade líquida de água (LI) que a cultura deve consumir entre duas irrigações é conseguido pela equação 4. Esse valor determinado indica que todas as vezes em que a umidade do solo baixar a esse nível, a irrigação deve ser realizada em quantidade capaz de elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

O momento da irrigação, por esse método, pode ser dado por: a) intervalo de irrigação (IR) que é definido pela razão entre a lâmina total necessária (LTN) e a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>); b) medições do estado da água no solo por meio de sensores ou medidas gravimétricas da umidade no solo.

a) Uso do intervalo de irrigação, equação 6.

$$IR = \frac{LTN}{ET_c} \quad \text{ou} \quad IR = \frac{LI}{ET_c} \quad (6)$$

sendo: LTN dada pela equação 7.

$$LTN = \frac{LI}{Es} \quad (7)$$

em que: Es - eficiência do sistema de irrigação (decimal); ET<sub>c</sub> - evapotranspiração média diária do período (mm dia<sup>-1</sup>).

Nesse método, portanto, propõe-se uma reposição constante da água do solo, sendo que o intervalo de irrigação varia com a ET<sub>c</sub>, cujos valores podem ser tomados a partir de normais meteorológicas da região.

b) Uso de medições do estado da água no solo por meio de sensores ou medidas gravimétricas da umidade no solo.

O momento da irrigação pode ser determinado de forma mais flexível, sem estar amarrado a um valor fixo da lâmina total necessária, isto é, pode ser determinado apenas por medidas do estado da água do solo, em que se monitora o teor de água ou o potencial matricial do mesmo, avaliando se a redução na faixa de água disponível está dentro da faixa de manejo recomendada. O potencial matricial ou a umidade atual do solo corresponde a uma percentagem atual da disponibilidade total de água.

O monitoramento pode ser feito determinando-se gravimetricamente o teor de água no solo, ou com uso de medidores diretos de umidade, como sonda de nêutrons, reflectometria no domínio do tempo, ou com medidores indiretos de umidade, como o tensiômetro ou blocos de resistência elétrica.

Dentre esses, o tensiômetro vem sendo utilizado por produtores que adotam manejo de irrigação de forma adequada. O tensiômetro é um típico exemplo de instrumento que necessita entrar em equilíbrio com a água do solo para medir o potencial matricial. Os tensiômetros mais comuns empregam manômetro de mercúrio (Fig. 3a) ou manômetro com vacuômetro de bourdon (Fig. 3b). Atualmente, já se utilizam leitores digitais para medir o potencial de água. A Fig. 4a mostra o detalhe do tensiômetro com a borracha de vedação para leitura digital, com o respectivo leitor (**tensímetro**) no ato da realização da leitura do potencial (Fig. 4b).

A determinação do momento da irrigação com uso do tensiômetro é feita verificando-se quando o solo atinge determinados potenciais matriciais, além dos quais o estresse a que é submetida a cultura pode comprometer seu desenvolvimento de forma significativa, ou verificando-se o conteúdo de umidade no solo com a utilização da curva de retenção de água no solo (Fig. 5).

Uma vez determinada a curva de retenção do solo, o próximo passo consiste na definição da faixa de disponibilidade de água na curva de retenção. Existem faixas de potencial matricial definidas como mais adequadas ao desenvolvimento e produção das culturas. A Tabela 5 apresenta valores de potencial para algumas delas.

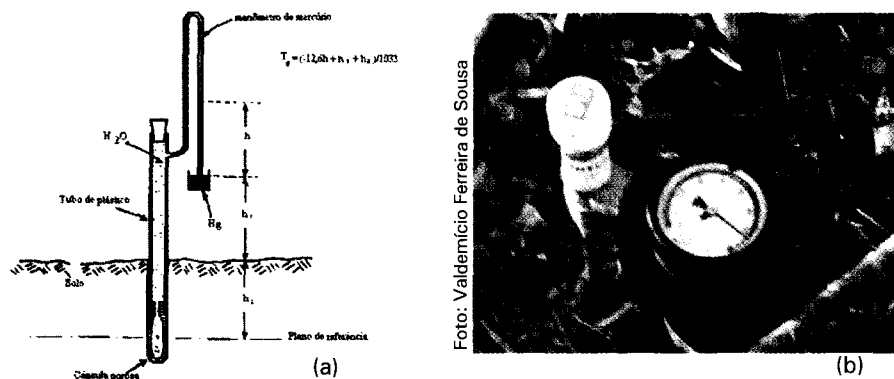


Fig. 3. Tensiômetros com manômetro de mercúrio (a) e com vacuômetro de bourdon (b).

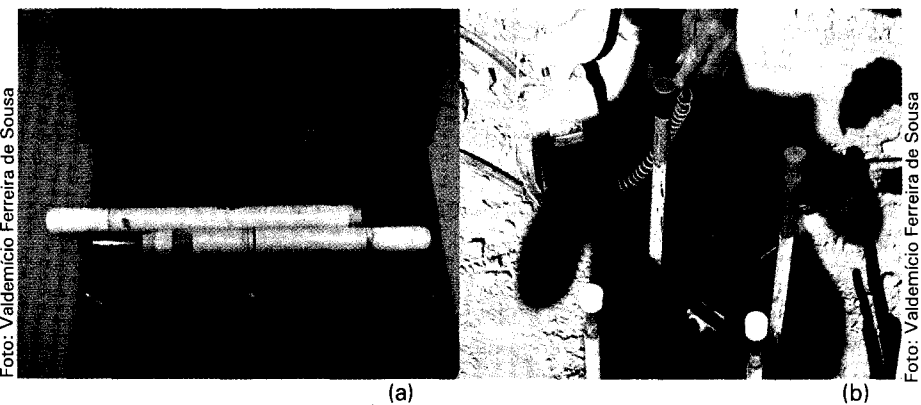


Fig. 4. Detalhes do tensiômetro confeccionado para utilização de leitura digital (a) e do leitor digital do potencial (tensímetro) no momento da leitura (b).

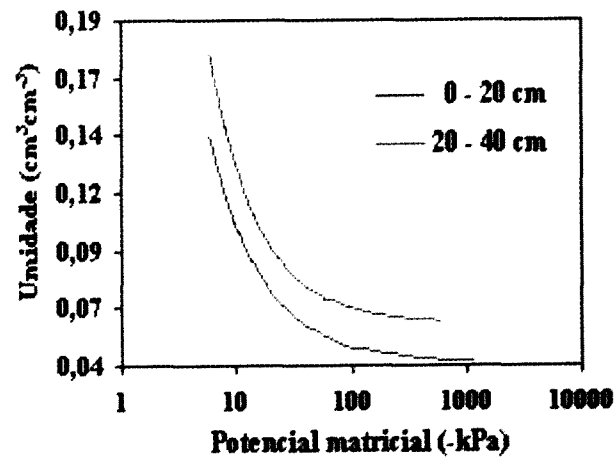


Fig. 5. Curva de retenção de água no solo.

Tabela 5. Faixas de tensão de água do solo adequadas ao desenvolvimento e produtividade de algumas culturas.

Cultura	Potencial matricial (- kPa)
Abacate	50
Banana	30 - 150
Uva	40 - 100
Limão	40
Laranja	35-40
Melão	30 - 80

Fonte: Millar (1984).

O número e a localização dos tensiômetros são pontos importantes a serem considerados. O número de tensiômetros depende da variabilidade espacial do solo, sendo necessário pelo menos uma bateria para cada mancha de solo da área. Stegman (1983) recomenda de duas a quatro baterias para cada 65 ha.

Cada bateria de tensiômetros deve ser composta de dois instrumentos, a diferentes profundidades, conforme a profundidade do sistema radicular. Como regra geral, devem-se instalar os tensiômetros no centro de atividade do sistema radicular. Ao contrário das culturas de ciclo curto, tais como, cereais e hortaliças, que apresentam um sistema radicular de menor porte, as fruteiras apresentam sistema radicular em um maior volume de solo, sendo que parte desse sistema é composto por raízes que não atuam como absorventes, mas como sustentação da planta. No caso do coqueiro-anão, por exemplo, as raízes absorventes concentram-se a partir de um raio de 0,5 m da planta.

### Medidas na planta

As medidas de condutância difusiva da folha, potencial de água da planta e temperatura da planta são usadas para estimar o estado da água da planta, para posterior determinação do momento da irrigação. Dessas alternativas, o potencial de água na planta tem sido o de uso mais comum, mediante uso da bomba de Cholamder ou pelo uso do psicrômetro de folha. Os potenciais de água da planta, que são usados como índices referenciais para irrigação, têm sido determinados para algumas fruteiras (Tabela 6).

A temperatura da planta tem sido medida, principalmente, por meio do termômetro infravermelho, que avalia a temperatura do dossel vegetativo. A temperatura, juntamente com o deficit de pressão de vapor do ar, pode ser usada para determinação do momento da irrigação. Outra medida que pode ser usada para determinação do estado de água na planta é o diâmetro do tronco, cuja variação está correlacionada à variação do potencial de água da folha. As medidas com base no estado de água da planta não têm sido usadas pelo produtor em razão do custo dos aparelhos envolvidos e da variabilidade temporal e espacial a que estão sujeitas.

**Tabela 6.** Potencial de água na folha para algumas fruteiras sob condições razoáveis de água no solo e sob condições de deficit hídrico para as plantas.

Autores	Tipo de cultura	Potencial de água da planta sem deficiência hídrica (kPa)	Potencial de água da planta com deficiência hídrica (kPa)
Whiley et al. (1994)	Abacate	<400	1.000
Turner et al. (1994)	Banana	50 - 1200	350
Syvetsen et al.(1994)	Citros	-	6.600
Schaffer et al.(1994)	Manga	<1200	3.200
Menzel et al. (1994)	Maracujá	-	2.480

### Balanco de água na zona radicular

Esse método baseia-se no balanço de água no solo, cujos componentes principais de entrada no sistema são a precipitação efetiva, ou aquela que infiltra no solo, e a irrigação. Em caso de presença de lençol freático, pode haver contribuição do mesmo. Os componentes de saída do sistema são a evapotranspiração e a perda por percolação, podendo, entretanto, haver casos de perdas por escoamento superficial. O método se baseia nos seguintes cálculos:

$$DA_{\text{atual}} = DA_{\text{anterior}} + U + PF \quad (8)$$

$$U = ETc - Pe \quad (9)$$

em que: Pe – precipitação efetiva no período avaliado (mm); PF – perda por percolação no período avaliado (mm); DA – deficit de água (mm); U - necessidade de água (mm).

O valor de U para o caso de fruteiras irrigadas por microirrigação deve ser calculado considerando-se um fator de correção da equação convencional para a microirrigação, cuja equação fica da seguinte forma (Keller & Bliesner, 1990):

$$U = 0,1 (PR)^{0,5} (ETc - Pe) \quad (10)$$

em que: PR – porcentagem de sombreamento dado pela razão entre a projeção da sombra da árvore ao meio-dia e a área total ocupada pela planta (%).

O balanço é feito partindo-se de um deficit nulo, contabilizando-se diariamente as entradas e saídas de água no solo. Os deficits são acumulados e, quando atingem um valor máximo permissível, a irrigação deve ser realizada e será correspondente ao deficit acumulado até aquele momento.

$$\text{Deficit total permissível (DTP)} = f \text{ AD } Z_R \quad (11)$$

em que: AD – água disponível (mm) e  $Z_R$  – Profundidade efetiva das raízes (mm).

Se  $\text{DTP} \geq \text{deficit de água atual}$  - Não irrigar.

Se  $\text{DTP} \leq \text{deficit de água atual}$  - Momento de irrigar.

## Aplicação e manejo de nutrientes: Fertirrigação

A fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Essa técnica traduz o uso racional de fertilizantes em agricultura irrigada, uma vez que aumenta a sua eficiência de uso, reduz mão-de-obra e o custo com máquinas, além de flexibilizar a época de aplicação, podendo ser fracionada em doses recomendadas conforme a necessidade da cultura.

## Princípios e aplicação da fertirrigação

A fertirrigação adapta-se bem a diferentes sistemas de irrigação, fixos, semi-fixos ou móveis (Boaz & Halevy, 1974). No entanto, a aplicação dessa técnica é mais recomendada para os sistemas de irrigação localizada, seguido por aspersão, principalmente nos sistemas fixos (Goldberg & Shmueli, 1970; Bresler, 1977; Abreu et al., 1987). A utilização desse método de irrigação promove a melhoria da eficiência do uso dos fertilizantes, segundo Phene et al. (1979), reduz as perdas dos fertilizantes por lixiviação, melhora o controle da concentração de nutrientes no solo, conforme Bresler (1977) e economiza mão-de-obra e energia. São vários aspectos favoráveis à aplicação de fertilizantes por meio dos sistemas de irrigação localizada, todavia, é importante que a aplicação seja feita de forma correta, a fim de evitar obstruções na tubulação e nos emissores (Sousa, A.P. & Sousa, V.F. de, 1993).

O uso da irrigação por gotejamento, associado à fertirrigação, tem-se mostrado bastante eficiente para o cultivo do meloeiro (Pinto et al., 1993; Sousa, V.F. de & Sousa, A.P., 1998; Sousa et al., 1999a). Com esse sistema de irrigação, a água e os nutrientes são aplicados de forma pontual na zona de abrangência das raízes, o que reduz as perdas por lixiviação e aumenta a eficiência do uso dos mesmos pela planta (Phene et al., 1979).

O princípio de aplicação da fertirrigação preconiza a utilização de produtos solúveis em água. Contudo, na seleção dos fertilizantes a serem utilizados, deve-se considerar, além da solubilidade, os aspectos relacionados com a pureza, poder corrosivo, poder de acidificar e salinizar os solos e a compatibilidade entre produtos (Nir, 1982; Dasberg & Bresler, 1985; Costa et al., 1986; Abreu et al., 1987; Sousa, A.P. & Sousa, V.F. de, 1993). Essas características são importantes no manejo operacional do sistema, na uniformidade de distribuição de fertilizantes, na eficiência de uso dos nutrientes pela cultura e na preservação ambiental.

## Sistemas de injeção de fertilizantes

Existem diversos métodos de injeção de fertilizantes via água de irrigação. Os equipamentos disponíveis podem ser agrupados em cinco categorias: turbobombas ou bombas hidrodinâmicas, bombas volumétricas ou de deslocamento positivo, método diferencial de pressão, transformação de energia (venturi) e método combinado ou composto (Costa et al., 1986; Costa & Brito, 1994). Dentre esses, podem-se destacar o venturi, bombas volumétricas e diferencial de pressão.

## Transformação de energia

Esse método baseia-se no princípio de transformação de formas de energia, ou seja, a energia de velocidade da água dentro da tubulação transforma-se em energia de pressão, a qual novamente transforma-se em energia de velocidade. Esse processo de transformação de energia ocorre mediante perda de energia, que deve ser mínima para que o método torne-se eficiente. Esse processo

também requer a utilização de peças ou equipamentos especiais acoplados à tubulação principal do sistema de irrigação, sendo o venturi o mais comum e mais utilizado na prática.

O venturi é uma peça especial que compreende uma seqüência de três seções no sentido do deslocamento da água na tubulação. A primeira seção é gradual convergente, passando por uma seção constrita e, em seguida, uma gradual transição ampliadora, até o diâmetro da tubulação da linha de irrigação (Fig. 6). O diferencial de pressão é originado pela passagem da água pela seção constritiva, que cria uma zona de pressão negativa ou vácuo, o qual succiona a solução do tanque de dissolução para a linha de irrigação. O fluxo de solução do tanque de dissolução pode ser regulado através de registros ou válvulas.

O injetor venturi não requer energia externa para sua operação; não possui partes móveis; tem uma vida útil longa, uma vez que é constituído, normalmente, de material plástico, de manutenção simples e baixo custo de aquisição. O seu princípio de funcionamento é facilmente explicado pela equação da continuidade (equação 12), a qual pressupõe que a vazão no ponto 1 seja igual à vazão no ponto 2 (Fig. 6):

$$Q_1 = Q_2 = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (12)$$

em que:  $Q$  = vazão da linha de irrigação ( $m^3 s^{-1}$ );  $A$  = área da seção transversal da tubulação ( $m^2$ );  $V$  = velocidade do fluxo de água ( $m s^{-1}$ ).

Como a vazão  $Q_1 = Q_2$  são constantes e a área  $A_1$  (tubulação) é bastante superior à área  $A_2$  (venturi), para que a equação da continuidade seja observada, é necessário que a velocidade do fluxo  $V_2$  seja infinitamente superior à velocidade do fluxo  $V_1$  (tubulação), ou seja,  $V_2 \gg V_1$ . É justamente essa transformação de energia cinética que provoca o diferencial de pressão entre os pontos 1 (tubulação) e 2, provocando uma pressão negativa ou sucção no ponto 2, onde se encontra conectado o depósito da solução de fertilizantes.

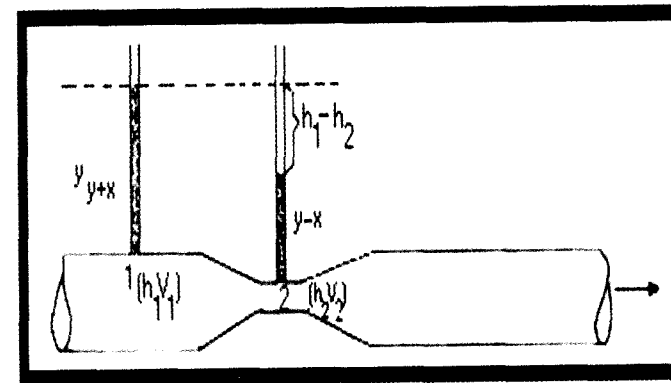


Fig. 6. Detalhe do sistema hidráulico de um venturi  
Fonte: Costa & Brito, 1994.

Existem venturis que apresentam diversas capacidades de injeção de fertilizantes na linha de irrigação. Suas características quanto à eficiência, vazão mínima de funcionamento e capacidade de injeção são definidas durante o processo de fabricação e variam, normalmente, em função do modelo ou número do venturi (Tabela 7).

**Tabela 7.** Características técnicas do venturi quanto à eficiência, vazão mínima de funcionamento e capacidade de injeção.

Modelo	Eficiência <sup>(1)</sup> (%)	Vazão de operação <sup>(2)</sup> Capacidade de injeção	
		(L.h <sup>-1</sup> )	
1	26	100	20
4	18	680	57
8	18	6.800	600
12	50	420	117
16	67	5.800	3.767

<sup>(1)</sup> $\Delta P$  requerida para iniciar a sucção ou mínima diferença de pressão para criar vácuo.

<sup>(2)</sup>Vazão medida por meio do orifício de um injetor à pressão de 350 kPa.

Fonte: Burt et al. (1998).



A principal desvantagem desse método é a elevada perda de carga localizada no venturi, nunca inferior a 30% da pressão de serviço da linha lateral ou principal do sistema de irrigação, o que dificulta ou impossibilita a injeção do fertilizante (Costa & Brito, 1994; Lopez, 1998). Entretanto, existem soluções alternativas para contornar essa limitação.

Uma primeira solução alternativa consiste em instalar o venturi em um esquema "by pass" a partir da linha de irrigação, utilizando uma tubulação de menor diâmetro com conseqüente redução da perda de carga localizada e facilitando a operação de injeção. Esse esquema permite, ainda, o benefício adicional de possibilitar a instalação de um venturi de baixa capacidade de injeção (pequeno diâmetro) em uma tubulação de irrigação de elevado diâmetro (Fig. 7). Contudo, ainda é necessário que seja efetuada uma pequena perda de carga por meio da instalação de um registro na linha de irrigação, para desviar parte do fluxo de água para o venturi.

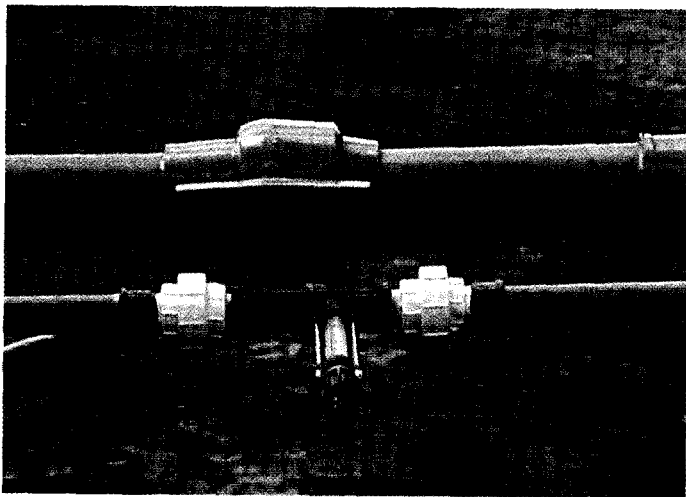


Foto: Valdemício Ferreira de Sousa

Fig. 7. Injetor venturi instalado em esquema "by pass".

## Diferencial de pressão

O método diferencial de pressão baseia-se na utilização da pressão negativa ocorrida no corpo da bomba centrífuga e/ou no aproveitamento da própria energia positiva gerada pelo sistema de bombeamento. As duas formas clássicas de utilização desse método são os tanques de derivação de fluxo e os sistemas que injetam a solução fertilizante diretamente na sucção da bomba centrífuga do sistema de irrigação.

## Tanque de derivação de fluxo

Os tanques de derivação de fluxo (tanque de fertilizantes) são tanques hermeticamente fechados, contendo a solução fertilizante, normalmente metálicos ou de material plástico reforçado com fibra de vidro para suportar as altas pressões de operação da linha de irrigação e conectados a estas por meio de um sistema "by pass" (Fig. 8). A tubulação do "by pass" é geralmente de plástico, a qual é conectada à linha de irrigação com a função de desviar parte do fluxo para o interior do tanque de derivação e, com isso, injetar a solução fertilizante no sistema de irrigação. O desvio de parte do fluxo requer a colocação de um registro de gaveta entre os pontos de entrada do fluxo e a saída da solução fertilizante, o qual, ao ser fechado parcialmente, provoca um diferencial de pressão de 10 a 50 kPa, responsável pela injeção da solução fertilizante.

Os tanques de derivação apresentam diferentes capacidades ou volumes, que dependem da área a ser irrigada e da dose e solubilidade do produto a ser aplicado, os quais normalmente variam entre 50 e 1.000 litros. Devem ser confeccionados com material capaz de resistir à pressão de operação do sistema de irrigação e tem que estar protegido contra a corrosão dos adubos químicos. É aconselhável a instalação de uma válvula de retenção na linha de irrigação, antes do tanque de derivação, para impedir o retorno da solução fertilizante à rede no caso da parada repentina do sistema de bombeamento (Vermeiren & Jobling, 1997).

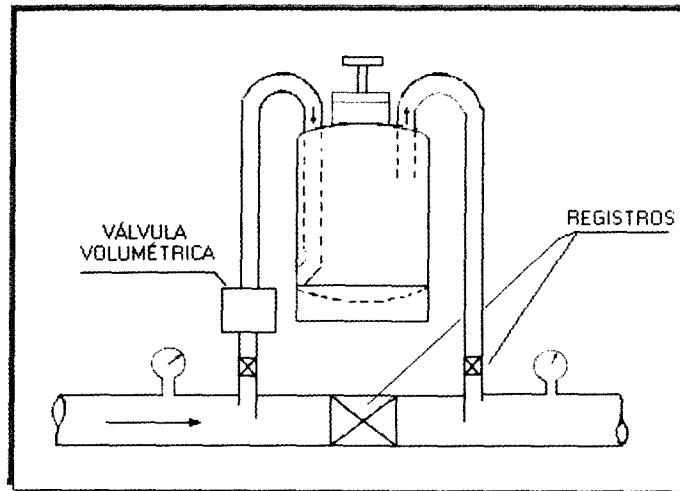


Fig. 8. Esquema de um tanque de derivação de fluxo.

Existem algumas adaptações a esse método, como a utilização de um latão de leite metálico para funcionar como tanque de derivação de fluxo, com a vantagem de ser facilmente encontrado no comércio e apresentar baixo custo (Costa & Brito, 1988; Andrade & Gornat, 1992). O tanque desenvolvido e calibrado por Andrade & Gornat (1992) apresenta vantagens em relação ao proposto por Costa & Brito (1988), no que diz respeito à confecção de uma tampa mais larga em substituição à original, que facilita a operação de preparo da solução e limpeza do tanque. Além disso, propõe um novo sistema de entrada e saída de água, que proporciona uma melhor mistura, dissolução da solução fertilizante e expulsão do ar.

A principal limitação do tanque de derivação de fluxo é a variabilidade da concentração da solução fertilizante ao longo do tempo de aplicação. A concentração da solução dentro do tanque de derivação decresce exponencialmente no tempo, com a introdução de água ao longo do processo de injeção (Frizzone et al., 1985; Costa & Brito, 1988; Andrade & Gornat, 1992; Costa & Brito, 1994). Para esses autores, se a solução a ser injetada for colocada no tanque já devidamente preparada, é necessário um volume equivalente a quatro vezes a capacidade do tanque para que toda a solução fertilizante seja injetada na linha de irrigação. Caso seja utilizado o produto em

estado sólido, ainda não previamente dissolvido, esse volume necessário passa para cerca de dez vezes o volume do tanque de derivação.

Entretanto, quando é aplicada a totalidade do fertilizante em uma área ou superfície determinada, o que ocorre normalmente nos sistemas de irrigação por aspersão convencional, esse inconveniente não apresenta um caráter tão limitante, uma vez que, decorrido o período de tempo necessário para sua aplicação, toda a solução fertilizante terá sido aplicada ao solo com uma uniformidade adequada. Por outro lado, torna-se preocupante quando se utilizam sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão), nos quais a solução fertilizante é distribuída a vários pontos sucessivamente e que, em razão das variações no tempo ou do funcionamento do sistema de irrigação, pode não ser distribuída de forma desejada (Vermeiren & Jobling, 1997).

Uma alternativa para evitar a variabilidade da concentração da solução fertilizante no tanque de derivação é a utilização de um sistema conhecido como tanque de corrente direta. Por esse sistema, coloca-se uma bolsa plástica dentro do tanque de derivação, a qual contém a solução fertilizante já previamente preparada. Com isso, a solução fertilizante é impulsionada pela ação da água de irrigação, que pressiona a parede externa da bolsa plástica forçando a introdução da solução no fluxo da linha de irrigação, por meio de um bocal, mantendo constante a concentração (Costa & Brito, 1994).

Em razão dessa característica de variabilidade da concentração da solução fertilizante aplicada ao longo do tempo, torna-se necessário todo um processo de calibração e operação do tanque de derivação de fluxo, que se encontra detalhadamente apresentado (Fig. 9).

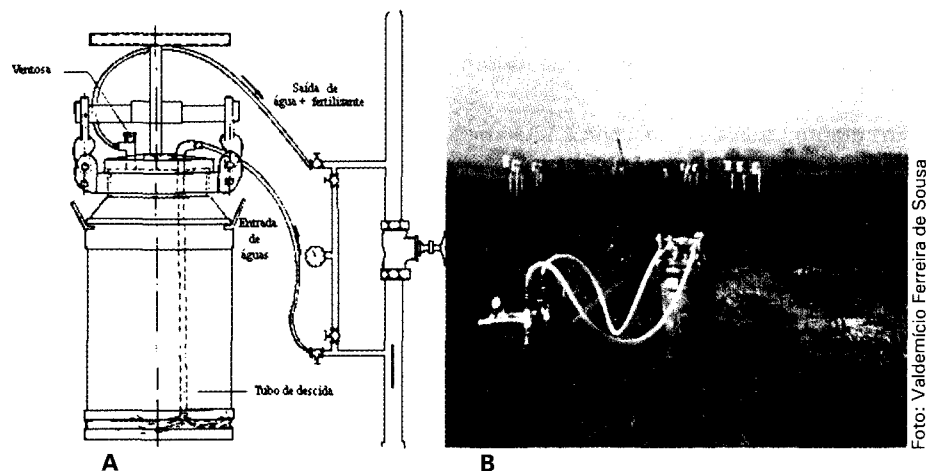


Fig. 9. Esquema do tanque de derivação de fluxo (A) e detalhe de instalação no campo (B)

Fonte: Andrade & Gornat (1992).

## Pressão negativa

Nesse método, a injeção da solução fertilizante na linha de irrigação é feita utilizando-se a pressão negativa ou vácuo criado no interior da tubulação de sucção da unidade de bombeamento (Fig.10). A calibração e o controle da entrada da solução fertilizante são efetuados mediante um registro, que permite a entrada de maior ou menor quantidade da solução contida no reservatório de dissolução, cujo volume introduzido é controlado por um hidrômetro (Costa & Brito, 1994).

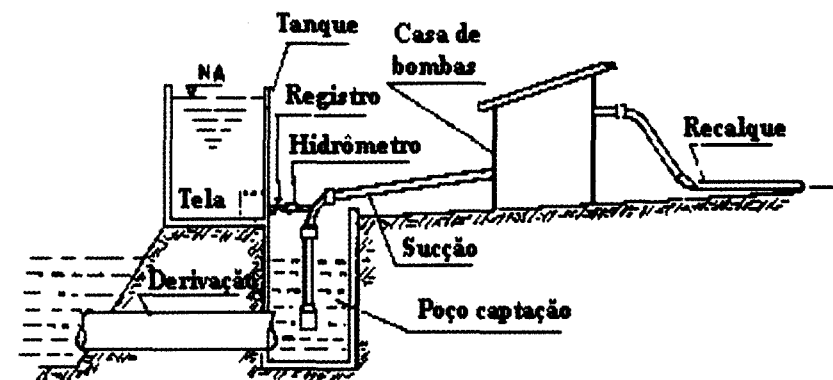


Fig. 10. Esquema de um sistema de injeção por pressão negativa.

Fonte: Costa & Brito (1994).

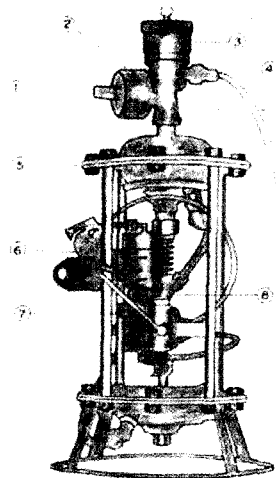
Esse tipo de instalação, sempre que possível, deve ser evitada, uma vez que apresenta uma série de inconvenientes e limitações, além da disponibilidade de outras opções de métodos mais simples e operacionalmente menos agressivos ao meio ambiente. A primeira limitação diz respeito ao aspecto ambiental, em virtude de uma possível contaminação da fonte de água pela solução fertilizante, decorrente do refluxo ocasionado por uma eventual parada do sistema de bombeamento. Outro aspecto é o desgaste que as soluções fertilizantes altamente corrosivas provocam nas partes internas da bomba centrífuga, as quais apresentam, na sua maioria, rotores metálicos.

## Pressão positiva

- Bombas volumétricas ou de deslocamento positivo

É o sistema mais preciso e mais caro de injeção de fertilizantes na linha de irrigação. Nesse caso, a solução fertilizante é injetada por meio de bombas, que podem ser acionadas por dispositivo elétrico ou hidráulico. No primeiro caso, não alteram o funcionamento do sistema de irrigação, porém, sua utilização na prática é mais difícil em virtude da necessidade de energia elétrica nos locais

onde são implantados os sistemas de irrigação. Por isso, as bombas injetoras com acionamento hidráulico são mais comumente utilizadas em campo (Fig. 11, 12 e 13).



Legenda:

1. Entrada de fertilizante
2. Válvula de sucção de fertilizante
3. Válvula reguladora de saída de fertilizante
4. Saída de fertilizante para linha
5. Diafragma superior
6. Válvula reguladora de entrada de água
7. Saída de água
8. Eixo central
9. Diafragma inferior

Fig. 11. Bomba injetora de fertilizantes de ação hidráulica por diafragma (TMB).

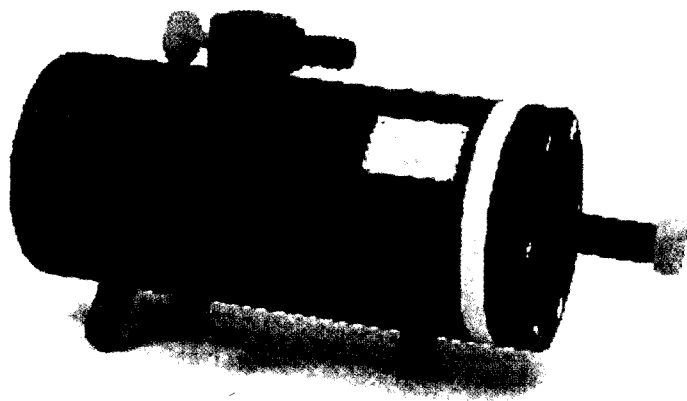


Fig. 12. Bomba injetora de fertilizantes de acionamento hidráulico.  
"Fonte:ITC (2000?)."

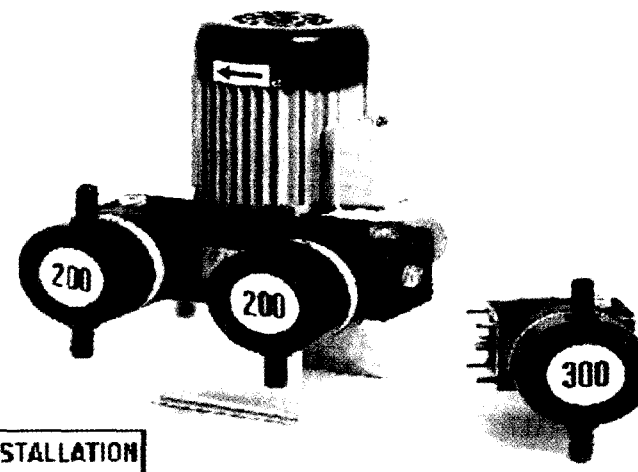


Fig. 13. Bomba injetora de fertilizantes de acionamento elétrico com diferentes módulos de injeção.  
"Fonte: ITC (2000?)."

O processo de injeção da solução fertilizante ocorre através de deslocamento positivo por meio de êmbolo ou diafragma. Nesse caso, o reservatório para dissolução dos fertilizantes não precisa estar com a mesma pressão da linha de irrigação, de modo que pode ser fabricado com material leve e ficar aberto. Para essa finalidade, utilizam-se normalmente as caixas d'água residenciais de cimento amianto de volumes variáveis.

Quando acionadas eletricamente, a taxa de injeção e, em consequência, a concentração da solução fertilizante na água de irrigação, podem ser fixadas à vontade, ou seja, pode-se obter toda a concentração resultante de uma vazão da bomba injetora e de uma concentração padrão permitida. No caso de serem acionadas pela própria pressão hidráulica da linha de irrigação, pode-se regular a taxa de injeção da solução fertilizante em função da vazão do sistema de irrigação (Vermeiren & Jobling, 1997). Por isso, o funcionamento dessas bombas injetoras está sujeito às variações de pressão e vazão da linha de irrigação.

Comercialmente, encontra-se disponível uma série de modelos de bombas injetoras hidráulicas e elétricas de acionamento por pistão de alto rendimento e

precisão. Existem bombas elétricas com módulos de diferentes capacidades de injeção (25 a 500 L h<sup>-1</sup>) regulados independentemente (Fig. 13), que facilitam sobremaneira a fertirrigação de diferentes unidades de irrigação no campo.

Em razão da limitação de variação de injeção da solução fertilizante em função da flutuação da pressão e vazão, há uma tendência atual para a utilização dos chamados dosificadores proporcionais de acionamento hidráulico, denominados “dosatron” (Fig. 14), que funcionam normalmente e injetam a mesma quantidade de solução fertilizante independentemente das variações de pressão e vazão na linha de irrigação.

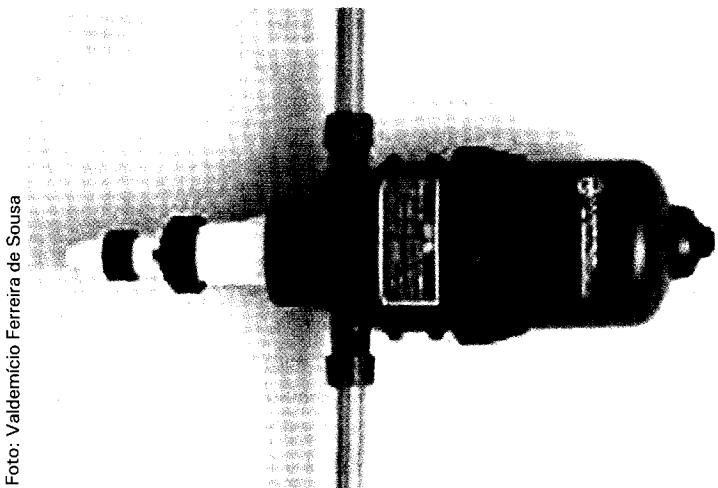


Fig. 14. Dosificador proporcional de ação hidráulica (Fertirrigacion y tratamientos. Catálogo técnico da Dosatron International).

Com esse equipamento, o processo de injeção da solução fertilizante na linha de irrigação ocorre em função da obtenção e regulagem da relação de injeção da solução inicial no dosificador. A injeção da solução inicial na linha de irrigação resulta na solução final ou solução fertilizante propriamente dita. A solução inicial pode ser preparada a partir de uma junção de vários fertilizantes ou adquirida na forma de soluções prontas comercialmente. No caso de serem preparadas, devem-se seguir as recomendações e cuidados normais quanto à solubilidade e compatibilidade dos fertilizantes a serem misturados. A relação de

injeção ou relação de diluição a ser utilizada no dosificador e a conseqüente concentração da solução final a ser obtida é calculada por meio das seguintes equações:

$$r_i = \frac{q}{Q} \quad (13)$$

$$C_f = C_i r_i \quad (14)$$

em que:  $r_i$  - relação de injeção (% ou por ‰);  $q$  - vazão da solução injetada (L h<sup>-1</sup>);  $Q$  - vazão da linha de irrigação (L h<sup>-1</sup>);  $C_f$  - concentração da solução final (g L<sup>-1</sup>);  $C_i$  - concentração da solução inicial (g L<sup>-1</sup>).

## Doses de nutrientes

A fertirrigação não deve ser praticada de forma empírica. A aplicação de fertilizantes com base na experiência do produtor e em recomendações genéricas pode levar à má utilização dos nutrientes pela cultura, desequilíbrio ambiental e prejuízos econômicos para o empreendimento. Portanto, a prática correta da fertirrigação deve ter embasamento científico levando em consideração todos os fatores principais que influenciam na fertilidade do solo e na nutrição da cultura.

O planejamento e o manejo correto da fertirrigação deve iniciar com o conhecimento da situação do solo, permitindo a determinação da dose apropriada de nutrientes. Na determinação das doses de nutrientes, é necessário conhecer: a) a extração pela cultura durante o ciclo ou as necessidades nutricionais para atingir uma determinada produtividade; b) a quantidade de nutriente que o solo pode fornecer para a cultura; c) a quantidade de nutrientes na água de irrigação; d) a eficiência da absorção de nutrientes nos diferentes métodos de irrigação (Vivancos, 1993; Papadopoulos, 1999). Em síntese, as doses de nutrientes podem ser determinadas da seguinte maneira:

$$D_n = (Q_{nex} - Q_{nfs})/E_f \quad (15)$$

em que:  $D_n$  - dose de nutrientes (kg);  $Q_{nex}$  - quantidade de nutrientes exportados pela planta (kg);  $Q_{nfs}$  - quantidade de nutrientes a ser fornecida pelo solo (kg);  $E_f$  - eficiência da fertirrigação.

Para se estimar a capacidade de fornecimento de nutrientes de um determinado solo, é preciso conhecer: a) a profundidade do sistema radicular da cultura a ser explorada; b) a densidade do solo; c) a área do solo ocupada pelas raízes; d) os nutrientes disponíveis fornecidos pela análise de solo. Com essas, calculam-se a massa de solo ocupada pelas raízes e a quantidade de nutrientes disponíveis:

$$ms = a \cdot z \cdot d \quad (16)$$

$$qnds = ms \cdot nd \cdot 10^3 \quad (17)$$

em que: z - profundidade do sistema radicular da cultura (m); d - densidade do solo ( $t \cdot m^{-3}$ ); a - área do solo ocupada pelas raízes ( $m^2$ ); nd - nutrientes disponíveis ( $g \cdot t^{-1}$ ); ms - massa de solo ocupada pelas raízes ( $t \cdot ha^{-1}$ ); qnds - quantidade de nutrientes disponíveis ( $kg \cdot ha^{-1}$ ).

A dose necessária de nutrientes pode ser determinada utilizando-se a equação descrita a seguir, que permite uma boa estimativa dos nutrientes necessários para o cultivo.

$$Dn = 100 [En - (qnds + qnda)]/Es \quad (18)$$

em que: Dn - dose de nutriente necessária ( $kg \cdot ha^{-1}$ ); En - necessidade de nutrientes para obter determinada produtividade ( $kg \cdot ha^{-1}$ ); qnda - quantidade de nutrientes disponíveis na água de irrigação ( $kg \cdot ha^{-1}$ ); Es - eficiência de fertirrigação do sistema (%).

Na literatura, existem algumas recomendações disponíveis para várias culturas em locais distintos, porém, a maioria delas sob condições de adubação convencional, que, na ausência de informações específicas para fertirrigação, podem ser utilizadas, mas com cuidados para evitar doses de nutrientes capazes de provocar prejuízos econômicos e ambientais. Porém, as recomendações com base em resultados de pesquisas experimentais sobre doses de nutrientes são mais práticas e seguras. Isso porque na adubação via fertirrigação o comportamento dos nutrientes no solo e sua eficiência de uso pelas plantas devem ser diferentes. A Tabela 8 apresenta a necessidade de nutrientes para o desenvolvimento vegetativo e formação dos frutos para algumas culturas.

Uma outra forma de seleção da dose de nutrientes é utilizar as recomendações de adubação provenientes da pesquisa, específica para cada cultura e região. Nesse caso, essas recomendações são feitas com base na produtividade esperada e nas quantidades de nutrientes que o solo pode fornecer a cultura.

**Tabela 8.** Quantidades de nutrientes requeridos pelas culturas no desenvolvimento vegetativo e formação de frutos.

Cultura	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	Desenv. vegetativo ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Formação de fruto ( $kg \cdot t^{-1}$ )	Desenv. vegetativo ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Formação de fruto ( $kg \cdot t^{-1}$ )	Desenv. vegetativo ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Formação de fruto ( $kg \cdot t^{-1}$ )
Banana	250	2,0	60	0,50	1000	6,00
Manga	70	1,35	14	0,44	130	1,98
Citros	85	1,44	18	0,44	108	1,84
Tomate	95	1,80	27	0,38	130	3,75
Melão	150-350	2,5-5,0	50-150	0,8-1,0	100-450	6,0-9,0
Maracujá <sup>(1)</sup>	-	377	-	-	-	368

<sup>(1)</sup>Acúmulo de nutriente na fase de produção (Haag et al., 1973).

Em razão da maior eficiência da fertirrigação, quando comparada com a adubação tradicional, é importante a realização de pesquisas visando determinar as melhores doses de nutrientes para as culturas. Trabalhos de pesquisas têm mostrado que sob condições de fertirrigação as produtividades podem aumentar com o aumento das doses de nutrientes. Quando comparadas as duas formas de adubação com a mesma dose, a fertirrigação pode duplicar a produtividade para algumas culturas. Papadopoulos (1999) apresenta comparação entre produtividades com fertirrigação e com adubação tradicional de várias culturas, em que se pode verificar que o uso da fertirrigação proporcionou rendimento superior a 100% (Tabela 9).

No caso do meloeiro, o aumento da produtividade pode ser obtida com doses crescentes de nutrientes aplicados via água de irrigação (Sousa et al., 1998), contudo, é preciso ajustar doses adequadas para a cultura (Hernandez & Aso, 1991). Em resultados de pesquisa em solos arenosos (Fig. 15 e 16), Sousa et al. (1998) constataram que a maior produtividade comercial ( $44,34 \cdot t \cdot ha^{-1}$ ) do meloeiro foi obtida com a combinação de  $160 \cdot kg \cdot ha^{-1}$  de N mais  $190 \cdot kg \cdot ha^{-1}$  de K<sub>2</sub>O. Doses de nitrogênio e potássio superiores a  $160 \cdot kg \cdot ha^{-1}$  e  $190 \cdot kg \cdot ha^{-1}$ , respectivamente, proporcionaram queda na produtividade de frutos comerciais. Entretanto, com  $100 \cdot kg \cdot ha^{-1}$  de N, houve uma tendência de aumento da produtividade, com doses de K maiores que  $190 \cdot kg \cdot ha^{-1}$ .

**Tabela 9.** Rendimentos de algumas culturas cultivadas sob fertirrigação e adubação tradicional.

Cultura	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	
	Fertirrigação	Adubação tradicional
Melancia	115	60
Pepino	300	140
Tomate	180	55
Batata	70	37

Fonte: Papadopoulos (1999).

Em outro experimento nas mesmas condições ambientais, Sousa et al. (1999b) mostraram que o aumento de doses de nitrogênio para até 180 kg ha<sup>-1</sup>, aplicadas via fertirrigação por gotejamento, proporcionou ao meloeiro aumentos significativos da produtividade comercial e total (Tabela 10).

Nas condições da região do Submédio São Francisco, Pinto et al. (1996) verificaram que as diferentes doses de potássio aplicadas via fertirrigação provocaram um efeito positivo na produtividade de melão. A produtividade máxima foi obtida com a aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Tabela 11), efeito atribuído ao aumento do peso médio de frutos. Em solos arenosos de Tabuleiros Costeiros, Sousa et al. (1998) e Sousa et al. (1999b) constataram que a produtividade do meloeiro aumentou com a aplicação de doses crescentes de potássio, até 200 kg ha<sup>-1</sup> (Fig. 16). Essas diferenças podem ser atribuídas ao ambiente e aos sistemas de produção, principalmente densidade de plantio e condução de plantas e frutos.

**Tabela 10.** Efeito de quatro níveis de nitrogênio aplicados via fertirrigação por gotejamento na produtividade do meloeiro<sup>(1)</sup>.

Dose de N	Produtividade total (t ha <sup>-1</sup> )	Produtividade comercial (t ha <sup>-1</sup> )
180	55,03 a	46,62 a
120	51,16 ab	43,51 a
60	40,81 bc	31,60 b
0	35,80 c	27,82 b

Médias com a mesma letra em cada coluna, não diferem, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Fonte: Sousa et al. (1999b).

**Tabela 11.** Produtividades médias de frutos de melão obtidas com diferentes doses de potássio.

Dose de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )
0	24,02
45	30,81
90	34,24
135	26,07

Fonte: Pinto et al. (1996).

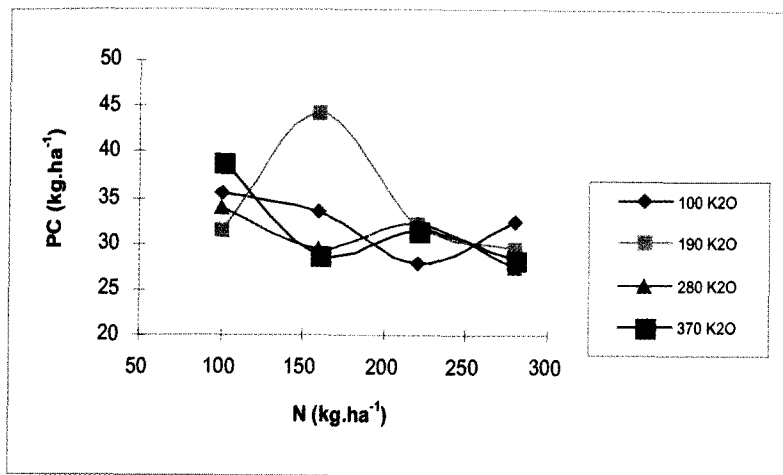


Fig. 15. Produtividade comercial do meloeiro sob diferentes doses de N, com K constante.

Fonte: Sousa et al. (1998)

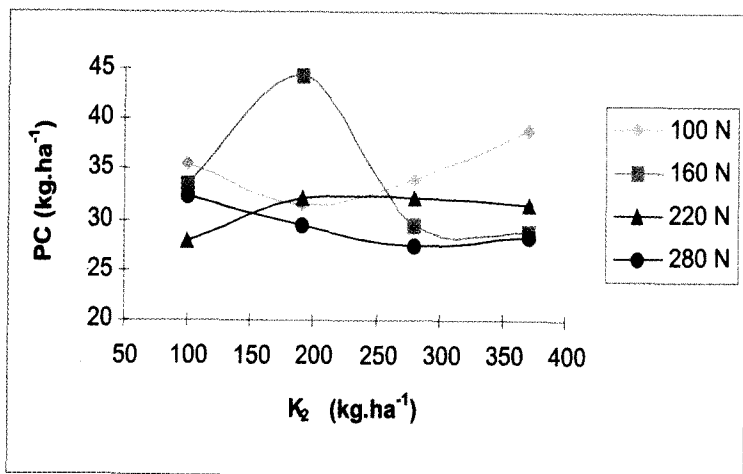


Fig. 16. Produtividade comercial do meloeiro sob diferentes doses de K, com N constante.

Fonte: Sousa et al. (1998).

Resultados referentes a doses de nutrientes aplicados por fertirrigação para outras culturas, como tomate, pimentão, melão, pepino e melancia, são abordados em Silva et al. (1999) e Vivancos (1993) para algumas fruteiras.

## Distribuição e frequência de aplicação de nutrientes

Uma das maiores virtudes da fertirrigação é a possibilidade da aplicação parcelada dos nutrientes recomendados. A frequência de aplicação de nutrientes ou seu parcelamento deve ser feita de acordo com a marcha de absorção dos nutrientes pela cultura nos seus diferentes estádios de desenvolvimento (Sousa, V.F. de & Sousa, A.P. 1998). Dessa forma, para efetuar um bom manejo da fertirrigação, é necessário conhecer como ocorre a distribuição da absorção dos nutrientes no ciclo da cultura. Dada a complexidade na sua determinação, são poucas as informações na literatura referentes a esse assunto, principalmente para as fruteiras.

De maneira geral, a absorção de macronutrientes, principalmente N, P e K, pelas culturas segue a mesma tendência do acúmulo de matéria seca (Papadopoulos, 1999). Portanto, na ausência da curva de absorção de nutrientes, o acúmulo de matéria seca dá uma boa aproximação. As Tabelas 12 e 13 apresentam a distribuição de N e K, em termos percentuais, para o maracujazeiro e o meloeiro. Esses valores permitem planejar um parcelamento adequado dos nutrientes para serem aplicados via fertirrigação.

Aplicações mais frequentes e em menores quantidades permitem reduzir as perdas de nutrientes, aumentam a eficiência do uso de fertilizantes e promovem o aumento da produtividade do meloeiro (Pinto et al., 1993; Sousa, 1993). No caso do nitrogênio, os efeitos da aplicação com maior frequência são mais evidentes em virtude da sua facilidade de perda no solo, principalmente nos solos de textura arenosa.



**Tabela 12.** Acúmulo de nitrogênio (N) e de potássio (K) pelo maracujazeiro na fase de produção.

Período (DAP)	N (g planta <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (g planta <sup>-1</sup> )
130 – 160	0,119	0,076
160 – 190	0,735	0,656
190 – 220	4,279	3,496
220 – 250	5,414	5,085
250 – 280	44,920	42,850
280 – 310	83,500	91,400
310 – 340	103,500	101,500
340 – 370	134,000	122,800
Total	376,467	367,863

**Tabela 13.** Distribuição de nitrogênio e de potássio ao longo do ciclo do meloeiro.

Estádio de desenvolvimento (DAP)	Fração do N total (%)	Fração do K total (%)
plantio	-	33,0
Até 15	20,0	14,2
15-30	35,0	26,4
30-55	45,0	26,4

Fonte: Pinto et al. (1996).

A literatura mostra que, na maioria das vezes, os melhores resultados da fertirrigação são obtidos com aplicações mais freqüentes. A aplicação de fertilizantes deve ser feita com a mesma freqüência de irrigação (Medina San Juan, 1985; Pizarro, 1996). Para as culturas de ciclo curto, como as hortaliças e culturas anuais, a fertirrigação deve ser mais freqüente. Para as fruteiras de

ciclo anual, os fertilizantes podem ser aplicados via água de irrigação, com menor freqüência. No entanto, não há nenhum problema em se aplicar com a mesma freqüência de irrigação (Pizarro, 1996).

Os efeitos de freqüências de fertirrigação por gotejamento com nitrogênio e potássio no meloeiro verificam-se nas Tabelas 14 e 15. Na aplicação de nitrogênio e potássio sob freqüências iguais (Tabela 14), Sousa, V.F. de & Sousa, A.P. (1998) mostraram que a aplicação desses nutrientes com freqüência de dois dias resultou na maior produtividade comercial do meloeiro e que, com a aplicação menos freqüente, a cada 21 dias, a produtividade foi menor que aquela obtida com adubação convencional. Isso evidencia que, quando se realiza a fertirrigação com aplicação pouco freqüente em culturas como o meloeiro, os resultados não divergem daqueles obtidos sob condições de adubação convencional.

Quando o nitrogênio e o potássio são aplicados em freqüências diferentes (Tabela 15), Sousa, et al. (1999a) constataram que a produtividade tende a reduzir com o aumento dos intervalos de aplicação de nitrogênio. A mesma tendência não foi verificada para o potássio.

**Tabela 14.** Efeito de diferentes freqüências de aplicação de nitrogênio e potássio via fertirrigação por gotejamento, nas produtividades total e comercial

do meloeiro, em Botucatu, SP.

Freqüência (dia)	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	
	Total	Comercial
Testemunha (convencional)	22,29	13,86
2	23,65	21,09
7	23,40	18,40
14	19,90	15,16
21	17,00	12,30

Fonte: Sousa, V.F. de & Sousa, A.P. (1998).

**Tabela 15.** Efeito de diferentes freqüências de aplicação de nitrogênio e de potássio via fertirrigação por gotejamento, nas produtividades total e comercial do meloeiro, em Parnaíba, PI.

Freqüência (dia)		Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	
Nitrogênio	Potássio	Total	Comercial
1	3	44,29	43,66
3	1	35,20	34,58
7	7	32,38	32,27
14	7	25,39	23,98
1	14	34,89	34,29

Fonte: Sousa et al. (1999a).

O uso de produtos fosfatados para fertirrigação requer muitos cuidados. As formas convencionais de fertilizantes à base de fósforo não possuem uma boa solubilidade, podendo precipitar-se nas linhas de irrigação e nos emissores, reagindo com íons como Ca<sup>2+</sup> ou Mg<sup>2+</sup> presentes na água de irrigação. Portanto, devem-se utilizar fertilizantes fosfatados na forma de ácidos, como o fosfórico, fosfato de uréia ou fosfato monoamônico (Papadopoulos, 1999). A aplicação de fertilizantes fosfatados via água de irrigação sob alta freqüência pode aumentar substancialmente a concentração de fósforo, a médio prazo, na solução do solo, acima do esperado, em virtude da sua solubilidade (Rauschkolb et al., 1976).

### Preparo e aplicação da solução

Uma vez definidos os tipos e as doses dos fertilizantes a serem aplicados via água de irrigação e verificada a sua compatibilidade, o preparo da solução nutritiva deve levar em consideração, principalmente, o seu pH e a solubilidade dos adubos. O pH da solução deve ser mantido entre 5,5 e 6,5 (Sousa et al., 1999c). Não há uma recomendação padrão para a concentração dos nutrientes na solução nutritiva. Essa concentração pode ser obtida a partir da concentração da solução que flui nas linhas de irrigação. Quando for necessário misturar fertilizantes diferentes, é importante verificar a compatibilidade entre eles. O Quadro 1 apresenta a compatibilidade entre vários fertilizantes utilizados na agricultura. Portanto, serve de orientação no ato da fertirrigação com mais de um fertilizante.

**Quadro 1.** Orientação para mistura de fertilizantes.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1						X					X				X
2						X					X				
3						X	O	O			X				X
4						X					X				O
5						X	O				O				
6	X				X	X	X				X				X
7				X	O	X					X				O
8						X					X	O			X
9						X					O				
10															
11	X			X	O		X	X	O						
12								X	O						
13															
14				X	O										
15	X						X	X							

Legenda:

O	
X	

Fertilizantes que podem ser misturados sem problemas.

Fertilizantes que só podem ser misturados pouco antes da aplicação.

Fertilizantes que não podem ser misturados.

1 – sulfato de amônio

2 – nitrato de sódio e nitrato de potássio

3 – nitrocálcio

4 – nitrato e sulfato de amônio

5 – uréia

6 – calcicocianamida

7 – superfosfato

8 – fosfato de amônio

Fonte: ANDA (1975).

9 – fosfato bicálcio

10 – farinha de osso

11 – escória de Thomas e termofosfatos

12 – fosfatos naturais ou rochas fosfatadas

13 – cloreto de potássio

14 – sulfato de potássio

15 – calcário

A concentração da solução nutritiva que deve ser injetada no sistema de irrigação pode ser determinada pela equação 19.

$$CSI = q_i CAI Q_s \quad (19)$$

em que: CSI - concentração da solução a ser injetada ( $g L^{-1}$  ou  $mg L^{-1}$ ); CAI - concentração na água de irrigação ( $g L^{-1}$  ou  $mg L^{-1}$ );  $q_i$  - vazão de injeção da solução na linha de irrigação ( $L h^{-1}$  ou  $m^3 h^{-1}$ );  $Q_s$  - vazão do sistema de irrigação ( $L h^{-1}$  ou  $m^3 h^{-1}$ ).

Conhecendo-se a vazão do sistema de irrigação ( $Q_s$ ) e a razão de injeção ( $r_i$ ), pode-se determinar a vazão de injeção ( $q_i$ ). Não há valores de  $r_i$  recomendados na literatura, podendo-se utilizar 0,01, ou valores que não resultem em concentrações da solução a ser injetada, acima de  $250 g L^{-1}$ , considerados como limite de solubilidade dos adubos.

$$q_i = r_i Q_s \quad (20)$$

A determinação da concentração na água de irrigação aplicada no solo (CAI) é dada pela equação 21.

$$CAI = \frac{QA PNF}{Q_s T_f} \quad (21)$$

em que: QA - quantidade do fertilizante a ser aplicada (kg); PNF - percentagem do nutriente no fertilizante (em decimal);  $T_f$  - tempo de fertirrigação adotado (horas);  $Q_s$  - vazão do sistema de irrigação ( $L h^{-1}$ ).

Conhecendo-se a razão de injeção ( $r_i$ ) e a concentração na água de irrigação (CAI), pode-se, também, determinar a concentração da solução a ser injetada (CSI) pela equação 22.

$$CAI = \frac{QA PNF}{Q_s T_f} \quad (22)$$

Pode-se, inicialmente, usar um valor de  $r_i$  de 0,01. Caso a concentração da solução a ser injetada não seja adequada ( $CSI > 250 g.L^{-1}$ ), adota-se um outro valor para  $r_i$ . O volume de água necessário para se obter a solução a ser injetada é dada pela seguinte equação:

$$V = \frac{QA}{CASI} \quad (23)$$

em que: V - volume de água necessário (L); QA - quantidade do fertilizante a ser aplicada (kg); CASI - concentração do adubo na solução a ser injetada.

O volume total necessário para a solução será o volume de água (V) somado ao volume do adubo, que pode ser obtido pela sua densidade (da).

$$da = \frac{m_a}{V_a} \quad (24)$$

em que:  $m_a$  - massa do adubo (kg);  $v_a$  - volume do adubo.

A densidade pode ser obtida pesando-se o volume de um litro do adubo. A densidade da uréia é de  $0,724 kg L^{-1}$  e do cloreto de potássio,  $1,074 kg L^{-1}$ . O volume total da solução a ser injetada será ( $V + v_a$ ), em que V é o volume de água utilizado para dissolver o adubo. Com base no volume total e no volume disponível (tanque ou reservatório de fertirrigação), calculam-se quantos recipientes contendo a solução nutritiva deverão ser usados.

A aplicação da solução nutritiva na linha de irrigação deve ser iniciada quando todo o sistema estiver em pleno funcionamento, com todas as linhas cheias de água. Recomendam-se, pelo menos, 30 minutos de irrigação antes de se iniciar a fertirrigação. Normalmente, será necessário pelo menos o mesmo tempo para que todo o fertilizante seja lavado da tubulação (Sousa et al., 1999c).

## Dinâmica de nutrientes no solo

O fluxo de íons no solo se dá pelos processos de difusão e transporte de massa. A difusão é o movimento de íons em razão do gradiente de atividade, enquanto no transporte de massa o movimento de íons se dá pelo arrastamento proporcionado pelo fluxo de água (Reichardt, 1985).

No caso do processo de difusão, o fluxo de soluto pode ser determinado a partir da equação fundamental da difusão ou equação Fick, como segue:

$$j = -D_0 VC \quad (25)$$

em que:  $j$  – densidade de fluxo de íons ou composto, que expressa a quantidade que atravessa a unidade da seção transversal, por unidade de tempo;  $D_0$  – coeficiente de difusão do componente em consideração;  $VC$  – gradiente de concentração.

No processo de transporte de massa, a força atuante no movimento é o gradiente hidráulico, que está contido no fluxo de água. Nesse caso, o fluxo é determinado pela equação 26.

$$j' = q C \quad (26)$$

em que:  $j'$  – fluxo por transferência de massa ( $\text{g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ );  $q$  – fluxo d'água ( $\text{cm}^3$  de água  $\text{cm}^{-2}$  de seção transversal  $\text{min}^{-1}$ );  $C$  – concentração da solução do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

Naturalmente, é comum ocorrer os dois processos de forma simultânea, quando a água se move e existem diferenças de concentração. Nesse caso, o fluxo total se deve à difusão e transporte de massa, calculado pela soma dos dois:

$$j_t = j + j' \quad \text{ou} \quad j_t = -D_0 VC + qC \quad (27)$$

Na aplicação de nutrientes via água de irrigação, um dos pontos importantes que deve ser acompanhado e estudado diz respeito ao movimento de nutrientes no solo, tanto do ponto de vista técnico, quanto econômico e ambiental.

O manejo inadequado de água no solo traz sérios problemas relacionados a perdas de nutrientes, principalmente por lixiviação. A aplicação de água além da capacidade de retenção do solo pode causar grandes perdas de solo e nutrientes por lixiviação, escoamento superficial e erosão, sendo o nitrogênio, o cálcio, o potássio e o magnésio os que apresentam maiores taxas de perda por lixiviação (Sanches, 1981).

O movimento de íons está relacionado à intensidade de percolação e ao comportamento de cada um em relação às condições de fixação e adsorção, os quais estão em função de características de cada íon e do tipo de solo em que se encontra. De acordo com Rice et al. (1986), o fluxo de água ou drenagem profunda deve variar consideravelmente, em razão do tipo de solo, uniformidade de aplicação de água, alterações nas camadas do solo durante o desenvolvimento da cultura e qualidade da água aplicada.

A lixiviação dos íons por meio do perfil do solo é uma das principais causas de perdas de nutrientes e contribui sensivelmente para a acidificação do solo (Reichardt, 1986). Isso indica a necessidade de se adotar o manejo de água e nutrientes com bastante critério, principalmente nos solos arenosos (Sousa et al., 1992). Dessa forma, quando do uso da fertirrigação nesse tipo de solo, o controle da concentração de nutrientes na solução do solo é bem mais complexo, requerendo assim a realização de pesquisas (Kafkafi & Bar-Yosef, 1980). O parcelamento da aplicação de nutrientes, principalmente do nitrogênio, que se perde com facilidade por lixiviação, é uma das principais práticas que devem ser empregadas na fertirrigação (Sousa, 1993). A irrigação por gotejamento, com alta frequência e aplicação de pequenas doses de água e fertilizantes de forma pontual, sugere um novo conceito de dinâmica de água e nutrientes no solo.

### Dinâmica do nitrogênio no solo

O nitrogênio na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é o nutriente de maior mobilidade no solo. O movimento de nitrato no solo, segundo Burt et al. (1998), é aproximadamente proporcional ao movimento da água que percola. Portanto, além de se quantificarem níveis adequados de água e nitrogênio, é necessário conhecer a magnitude e a velocidade das transformações desse nutriente no solo.

Nos solos agrícolas, mais de 85% do nitrogênio total existente na camada superficial encontra-se na forma orgânica e sujeito à mineralização por processos microbiológicos, sendo convertido em amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) e, posteriormente, pelo processo da nitrificação, em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e, finalmente, em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Os fertilizantes nitrogenados aplicados estão também envolvidos nas diversas reações do solo. Quando se aplica uréia ao solo, sob a ação da enzima urease, esta se desdobra em  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{CO}_2$ . O  $\text{NH}_4^+$  pode ser adsorvido pelo solo, absorvido pelas plantas ou microorganismos ou transformado em nitrato.

O grande problema nas perdas de nitrogênio por lixiviação ocorre quando este se encontra na forma de nitrato, pois apresenta grande mobilidade no perfil do solo. Contudo, essas perdas podem aumentar ou reduzir conforme os tipos de solo e seu conteúdo de umidade. Na fertirrigação, em que os nutrientes são aplicados ao solo já diluídos em água, precisa-se de maiores cuidados, principalmente em

solo arenoso, em que as perdas são mais acentuadas. Nesse caso, aplicações de água e nutrientes com alta frequência devem ser adotadas.

Sob fertirrigação por gotejamento, os dados obtidos em relação à dinâmica de nitrato no bulbo úmido (Fig. 17) mostram que a mobilidade desse nutriente foi muito alta, apresentando, inicialmente, uma maior tendência de migração lateral, alcançando rapidamente os pontos do bulbo (PAR/CSIC, 1999). Nesse mesmo trabalho, mostrou-se que a mobilidade do amônio foi inferior e sua distribuição, bem homogênea dentro do bulbo úmido.

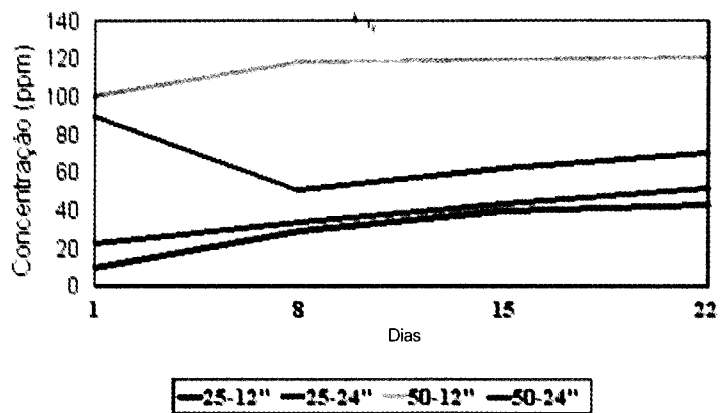


Fig. 17. Evolução da concentração de N(NO<sub>3</sub>) na solução do solo  
Fonte: PAR/CSIC (1999).

### Dinâmica de potássio no solo

O potássio é um dos nutrientes absorvidos da solução do solo pelas raízes, cujo contato se dá, predominantemente, pelo processo de difusão. No entanto, a aplicação de doses relativamente elevadas desse nutriente pode provocar o seu movimento no solo, pelo fluxo de massa, principalmente em regiões tropicais e subtropicais (Malavolta, 1980).

A movimentação de potássio no solo, quando aplicado via água de irrigação, tem sido objeto de estudos. Na aplicação desse nutriente por gotejamento, Klein, citado por Zanini (1991), constatou que ele se move para profundidades de 60 a 90 cm, contudo, seu movimento horizontal foi muito limitado, para em torno de até 50 cm. Para o autor, o movimento horizontal de potássio depende da intercambialidade de cátions e da saturação desse elemento no solo.

O autor ressalta que o rápido movimento vertical é bom para plantas frutíferas, quando cultivadas sob fertirrigação por gotejamento, pois permite imediata correção de sua deficiência em camadas inferiores. Entretanto, precisa-se acompanhar e monitorar esse deslocamento, a fim de não permitir perdas abaixo da zona radicular da cultura.

De acordo com trabalho realizado por Zanini (1991), é possível ter o controle da localização do íon potássio no solo, em função da água de irrigação e sua rápida movimentação por fluxo de massa. Na fertirrigação por gotejamento, a distribuição de potássio no perfil do solo é mais uniforme, pois o movimento de íons se dá na região do bulbo úmido (Kafkafi & Bar-Yosef, 1980; Uriu et al., 1980).

Pesquisas realizadas na Espanha mostraram que a dinâmica de potássio em solo, aplicado via fertirrigação por gotejamento, tem uma estreita relação com a dinâmica de água, havendo uma predominância de expansão lateral para os solos argilosos e vertical para solos arenosos ou de textura média, mas sempre dentro da zona de saturação do bulbo úmido. A Fig. 18 mostra que, aos 21 dias após a aplicação, ocorreram as maiores concentrações de potássio na solução do solo, entretanto, maior valor foi observado para uma profundidade de 25 cm e a 24 cm de distância do gotejador (PAR/CSIC, 1999).

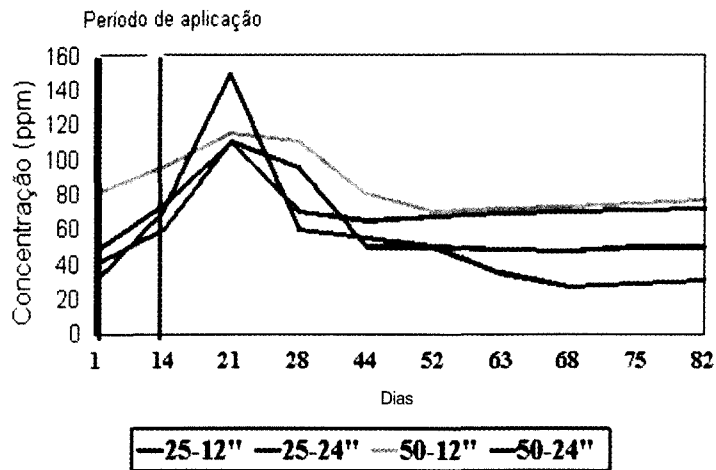


Fig. 18. Evolução da concentração de potássio na solução do solo.  
Fonte: PAR/CSIC (1999).

## Dinâmica de fósforo no solo

O fósforo tem pouca mobilidade no solo, indicando que as perdas por lixiviação desse elemento não implicariam problemas para a agricultura irrigada. No caso da prática da fertirrigação, sempre houve um questionamento de que a aplicação de fósforo via água de irrigação implicaria uma série de problemas para o sistema de irrigação, afetando, conseqüentemente, a distribuição tanto do potássio, como de outros nutrientes.

Com a possibilidade da utilização de fertilizantes fosfatados solúveis, a fertirrigação com esse nutriente será muito útil às culturas, principalmente no contexto da agricultura moderna, uma vez que sua aplicação apenas em fundação não atende às necessidades das culturas (Papadopoulos, 1999). A adubação com fósforo por meio da fertirrigação por gotejamento permite sua aplicação pontual junto às raízes das plantas, em alta frequência, fato que favorece a sua mobilidade no bulbo úmido (Bar-Yosef & Sheikhoslami, 1976; Phene et al., 1979).

A textura do solo tem grande influência sobre a dinâmica do fósforo. Em solos de textura média e arenosa, ocorre uma movimentação inicial em profundidade,

para posteriormente haver um movimento lateral. Já nos solos mais pesados (argilosos), a difusão lateral ocorre antes da vertical. Estudos de dinâmica de fósforo no bulbo úmido (Fig. 19) mostraram uma mobilidade superior à registrada na literatura, sob condições de cultivo tradicional, alcançando em horizontes abaixo de 50 cm altos níveis de P na solução do solo em poucas semanas (PAR/CSIC, 1999).

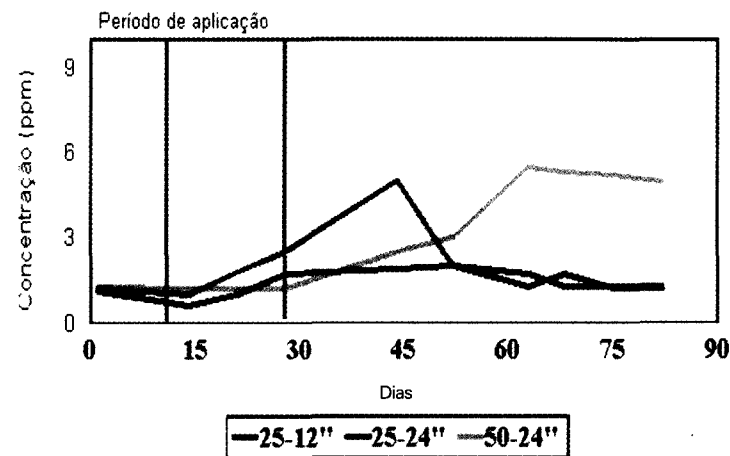


Figura 19. Evolução da concentração de fósforo na solução do solo.  
Fonte: PAR/CSIC (1999).

## Monitoramento do movimento de nutrientes no solo

Em agricultura irrigada com uso da fertirrigação, é muito importante realizar o acompanhamento da dinâmica dos nutrientes no perfil do solo. Essa prática permite estabelecer ou ajustar a aplicação adequada dos fertilizantes e o manejo da água de irrigação, além de prevenir danos ambientais com a salinização dos solos e a contaminação do lençol subterrâneo e fontes de água superficiais. Esse acompanhamento pode ser feito por intermédio de:

a) amostragens do solo e posterior determinação da condutividade elétrica e concentração de íons, que utiliza o extrato de saturação do solo, segundo a metodologia de Richards (1954).

b) extratores de solução do solo. Os extratores são confeccionados com cápsulas porosas utilizadas em tensiômetros (Fig. 20a) e são de fácil manuseio. Após instalados no solo (Fig. 20b), nas profundidades desejadas, suas extremidades devem ser fechadas e o ar interno extraído para facilitar a entrada da solução pela cápsula. A retirada da solução pode ser feita com pequenas bombas de vácuo ou com seringas descartáveis (Fig. 21), de acordo com os seguintes passos: a) fazer um vácuo com uma tensão em torno de 70 kPa, utilizando-se uma seringa descartável (Fig. 21a); b) em torno de 36 horas após a criação do vácuo, deve-se proceder à retirada da solução do extrator, utilizando-se a mesma seringa acoplada a uma mangueira flexível (Fig. 21b), para posterior análise em laboratório.

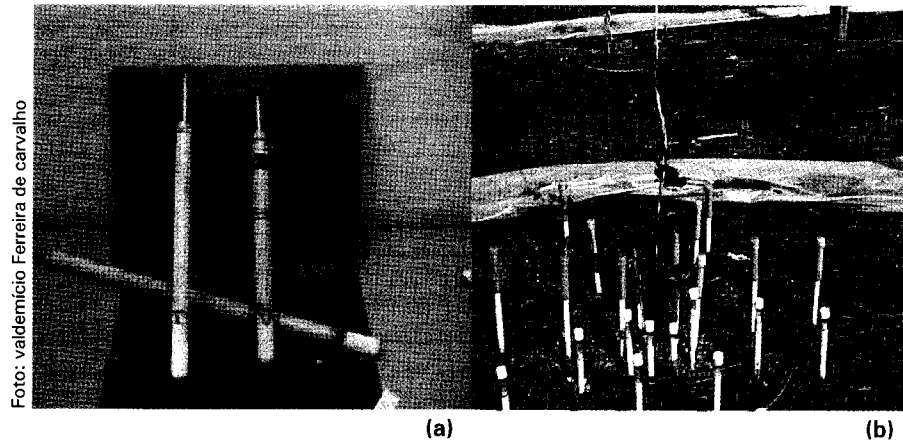


Fig. 20. Extratores de solução. Detalhe de confecção (a) e instalado no solo (b).  
Fonte: Sousa & Andrade Júnior (1999).

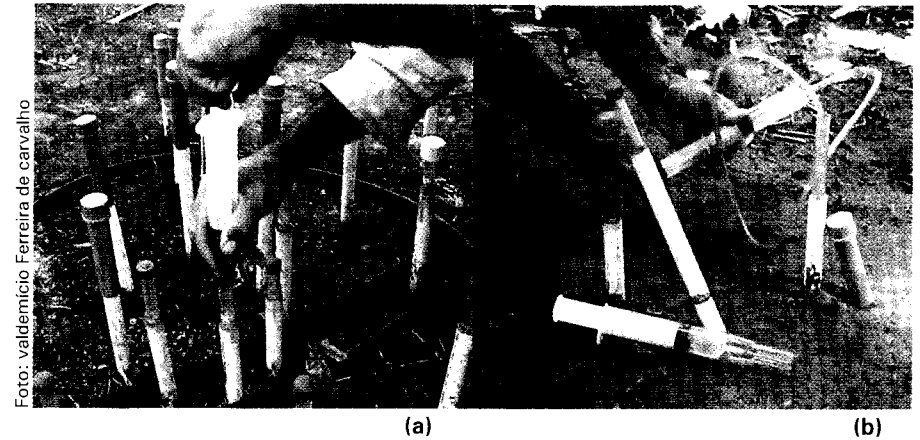


Fig. 21. Procedimento da extração de solução do solo, utilizando-se extratores de cápsula porosa e seringa descartável.

c) sensores de condutividade elétrica e de pH. Esses sensores são instalados no solo, na profundidade desejada, e, por meio de visor de leituras, podem-se acompanhar freqüentemente as variações da condutividade elétrica e do pH da solução do solo. Esses sensores (Fig. 22) podem ser conectados ao sistema de injeção de fertilizantes e torná-lo automático, com leituras feitas em um leitor digital específico (Fig. 23).

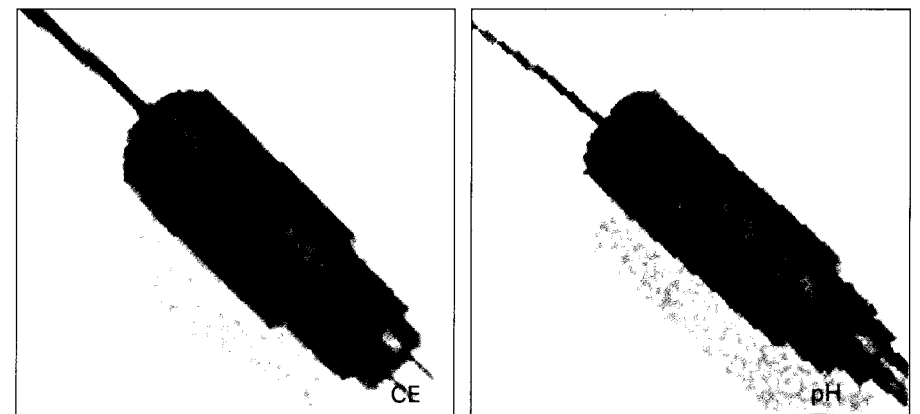


Fig. 22. Sensores de condutividade elétrica (CE) e pH.  
Fonte: ITC (2000?).

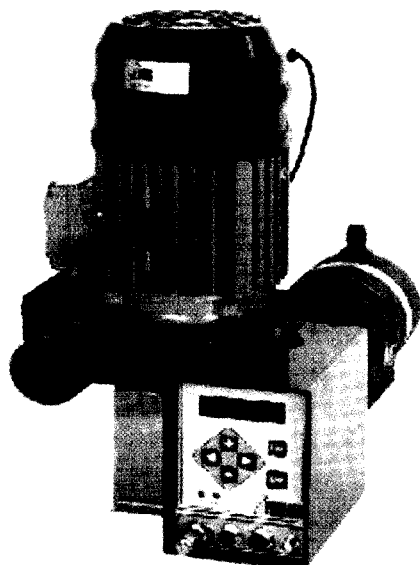


Fig. 23. Leitor de condutividade elétrica, pH e vazão, acoplado a uma bomba elétrica para injeção de fertilizantes  
Fonte: ITC (2000?).

## Considerações finais

Na agricultura irrigada, a água, isoladamente, é o insumo que mais onera o sistema de produção, principalmente em virtude dos elevados custos com instalação de sistemas de captação, bombeamento e a sua aplicação nas culturas. Isso exige do produtor irrigante a utilização de tecnologias capazes de otimizar o seu sistema de produção. Nesse aspecto, devem-se considerar não somente o manejo da irrigação, mas também o manejo da cultura irrigada, o que envolve todas as práticas agrônômicas necessárias para aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos.

A otimização dos recursos naturais e o aumento da produtividade não se dão apenas com o fornecimento de água às culturas. Entre outras técnicas, a elevação dos níveis de fertilidade do meio em que as plantas se desenvolvem é extremamente importante para uma agricultura altamente produtiva, uma vez que, numa agricultura auto-sustentável e lucrativa, o fornecimento adequado e eficiente de fertilizantes químicos às culturas é prática indispensável.

A aplicação e o manejo de água e nutrientes (fertirrigação) de forma inadequada, além de causarem prejuízos econômicos e ambientais, levam os produtores a não acreditarem em tecnologia, o que não é bom para tornar seu negócio competitivo, prejudicando, portanto, o desenvolvimento da agricultura.

O manejo adequado da fertirrigação proporciona o aumento da produtividade com ótima qualidade dos produtos. Entretanto, é preciso investir em pesquisas, geração e difusão de tecnologias capazes de colocar ao alcance dos produtores as melhores condições para o uso racional dessa prática, envolvendo treinamentos para técnicos, extensionistas e produtores em todas as etapas do sistema de produção com fertirrigação.

## Referências Bibliográficas

- ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADA, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1987. 316 p.
- ALLEN, R. G. **Irrigation engineering**: course lecture notes. Logan, Utah: Utah State University, Department of Agricultural Engineering, 1992. 297 p.
- ANDRADE, C. de L. T.; GORNAT, B. **Calibração e operação de um tanque de fertirrigação**. Parnaíba: EMBRAPA-CNPAL, 1992. 17 p. (EMBRAPA-CNPAL. Circular Técnica, 3).
- ANDA. **Manual de adubação**. 2. ed. São Paulo, 1975. 346 p.
- BAR-YOSEF, B.; SHEIKHOLSLAMI, M. R. Distribution of water and ions in soils irrigated and fertilized from a trickle source. **Journal of Soil Science Society of America**, Madison, v. 40, n. 4, p. 575-582, 1976.
- BEZERRA, F. M. L.; FREITAS, A. A. de; OLIVEIRA, C. H. C. de. Evapotranspiração máxima da acerola (*Malpighia glaba* L.) no primeiro ano de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: ESALQ, 1997. p. 671-673.



BOAZ, M.; HALEVY, I. **Trickle irrigation**. Jerusalem: Ministry of Agriculture, 1974. p. 39-57. (New Letter Israel Agriculture).

BRESLER, E. Trickle drip irrigation: principles and application to soil water management. **Advance in Agronomy**, New York, v. 29, p. 344-393, 1977.

BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1998. p. 15-42.

COSTA, E. F. da; BRITO, R. A. L. Aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1988. 19 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 13).

COSTA, E. F.; BRITO, R. A. L. Métodos de aplicação de produtos químicos e biológicos na irrigação pressurizada. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 85-109.

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. 1-112, 1986.

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Logan: Internacional Irrigation information Center, 1985. 95 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 212 p. (Riego y Drenage, 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Riego y Drenage, 33).

FRIZZONE, J. A.; ZANINI, J. R.; PAES, L. A. D.; NASCIMENTO, V. M. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31 p. (Boletim Técnico, 2).

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, n. 1, p. 38-41, 1970.

HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. de; BORDUCCHI, A. S.; SARRUGE, J. R. Absorção de nutrientes por duas variedades de maracujá. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 30, p. 267-279, 1973.

HERNANDEZ, C. F.; ASO, P. J. Fertilización del melón en invernadero. **Avance Agroindustrial**, n. 47, p. 3-4, 1991.

ITC – INJECTION TECHNICAL CONTROL. Controller 2000. Miami, [2000?]. Não paginado.

JENSEN, M. E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineer, 1973. 215 p.

JENSEN, M. E. Water consumptive by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. v. 2.

KAFKAFI, U.; BAR-YOSEF, B. Trickle irrigation and fertilization of tomatoes in highly calcareous soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 6, p. 893-897, 1980.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Nostrand Reinholds, 1990. 650 p.

LOPEZ, T. M. Cabezal de riego. In: LOPEZ, C. C. **Fertirrigação**: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: Mundi Prensa, 1998. p. 247-263.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MEDINA SAN JUAN, J. A. **Riego por goteo**: teoría y practica. 2. ed. Madrid: Mundi Prensa, 1985. 216 p.

MENZEL, C. M.; SIMPSON, D. R. Passionfruit. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of enviromental physiology of fruit crops**. United States of America: Lybrary of Congress, 1994. p. 225-242.

MILLAR, A. A. **Manejo racional da irrigação**: uso de informações básicas sobre diferentes culturas. Brasília: IICA, 1984. 65 p.

NIR, D. Drip irrigation. In: FINKEL, H. J. **CRC Handbook of irrigation technology**. Boca Raton: CRC Press, 1982. v. 1, p. 247-298.

NOGUEIRA, L. C.; NOGUEIRA, L. R. Q.; MIRANDA, F. R. Irrigação do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWIK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informações, 1998. p. 159-187.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-84.

PAR/CSIC. Plan de modernizacion de los regadíos tradicionales de mula.  
Disponível em: <http://par.cebas.csic.es/par.htm>. Acesso em: 28 set. 1999.

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PHENE, C. J.; FOUSS, J. L.; SANDERS, D. C. Water-nutrient-herbicide management of potatoes with trickle irrigation. **American Potato Journal**, Orono, v. 56, n. 1, p. 51-59, 1979.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; PEREIRA, J. R.; COSTA, N. D.; BRITO, L. T. L.; FARIA, C. M. B.; MACIEL, J. L. **Sistema de cultivo de melão com aplicação de fertilizantes via água de irrigação**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1996. 24 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 36).

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; CHOUDHURY, E. N.; PEREIRA, J. R. Adubação via água de irrigação na cultura do melão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 11, p. 1263-1268, 1993.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3. ed. Madrid: Mundi Prensa, 1996. 513 p.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. 3. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 142 p.

RAUSCHKOLB, R. S.; ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; CARLTON, A. B.; BURAU, R. G. Phosphorus fertilization with drip irrigation. **Proceedings of Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 40, n. 1, p. 68-72, 1976.

REICHARDT, K. Dinâmica de fons no solo. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1986, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1986. p. 43-52.

REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. ed. Campinas: Fundação Cargil, 1985. 466 p.

RICE, R. C.; BOWMAN, R. S.; JAYNES, D. B. Percolation of water below an irrigated field. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 4, p. 855-859, 1986.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. Washington: United State Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

SCHAFFER, B.; WHILEY, A. W.; CRANE, J. H. Mango. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. United States of America: Library of Congress, 1994. p. 165-198.

SANCHEZ, P. A. **Suelos del tropicos**: características y manejo. San Jose: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1981. 660 p.

SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A. Fertirrigação na Embrapa Hortaliças. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 433-440.

SOUSA, A. P.; SOUSA, V. F. de. 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: CEPLAC, 1993. p. 2519-2528.

SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E. F.; VIANA, F. M. P.; SILVA, P. H. S. da. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1999c. 68 p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 21).

SOUSA, V. F. de. **Frequência de aplicação de N e K via água de irrigação por gotejamento no meloeiro (*Cucumis melo* L. cv. Eldorado 300) em solo de textura arenosa**. 1993. 131 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SOUSA, V. F. de; AGUIAR NETTO, A. O.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SOUSA, A. P.; DANTAS NETO, J. **Manejo de irrigação através do balanço de água no solo**. Teresina: Embrapa-CPAMN, 1997. 36 p. (Embrapa-CPAMN. Documentos, 23).

SOUSA, V. F. de; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Fertirrigação: injeção de fertilizantes e dinâmica de nutrientes no solo**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1999. 27 p. Palestra apresentada na XIII Semana de Estudos Agropecuários e Florestais de Botucatu, SP.

SOUSA, V. F. de; ANDRADE, C. L. T.; SOUSA, A. P.; AGUIAR NETTO, A. O. Redistribuição de água em solo de textura arenosa sob irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 963-973.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FOLEGATTI, M. V. Fertirrigation management by drip irrigation for melon crop cultivated in sandy soils. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1999, Toronto.

Proceedings... St. Joseph: ASAE, 1999a. 1 CD-ROM.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; BASTOS, E. A.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Doses de nitrogênio e potássio por fertirrigação na produtividade do meloeiro. In: BALBUENA, R. H.; BENEZ, S. H.; JORAJURIA, D. **Avances en el manejo del suelo y agua en la ingeniería rural latinoamericana**. La Plata: EUNLP, 1998. p.195-200.

SOUSA, V. F. de; SILVA, F. C. da; COELHO, E. F.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; CARDOSO, S. da S. Crescimento e produtividade do meloeiro sob diferentes doses de nitrogênio e de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Temuco, Chile. **Anais...** Temuco: Universidad de la Frontera, 1999b. 1 CD-ROM.

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. P. Efeito da frequência de aplicação de N e K por gotejamento na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 3, p. 36-45, 1998.

SOUSA, V. F. de; ALENCAR, C. M.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. de L. Coeficientes de cultivo para o maracujazeiro amarelo no período de desenvolvimento vegetativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola: UFC, 2000. 1 CD-ROM.

STEGMAN, E. C. Irrigation water management. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1983. p. 763-816.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. United States of America: Lybrary of Congress, 1994. p. 65-100.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a ration classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

TURNER, D. W. Banana. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of enviromental physiology of fruit crops**. United States of America: Library of Congress, 1994. p. 37-64.

TUNNER, C. G. Mensuraments of evapotranspiration. In: HAGAN, R. M. **Irrigation of Agricultural lands**. Madison: American Society Agronomy, 1967. p. 534-574. (ASA. Agronomy Series of Monographs, 11).

URIU, K.; CARLSON, R. M.; HENDERSON, D. W. SCHULBACH, H.; ALDRICH, T. M. Potassium fertilization of prune trees under drip irrigation. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 105, n. 4, p. 508-510, 1980.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. Equipamentos utilizados na irrigação localizada. In: GHEYI, H. R.; DAMASCENO, F. A. V.; SILVA JÚNIOR, L. G. A.; MEDEIROS, J. F. **Irrigação localizada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 75-129.

VIVANCOS, A. D. **Fertirrigación**. Madrid: Mundi Prensa, 1993. 217 p.

WHILEY, A. W.; SCHAFFER, B. Avocado. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. United States of America: Lybrary of Congress, 1994. p. 3-36.

ZANINI, J. R. Distribuição de água e do íon  $K^+$  no solo, aplicados por fertirrigação em gotejamento. II. Teores de  $K^+$  no bulbo molhado (2ª parte). **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 46, p. 24-38, set. 1991.