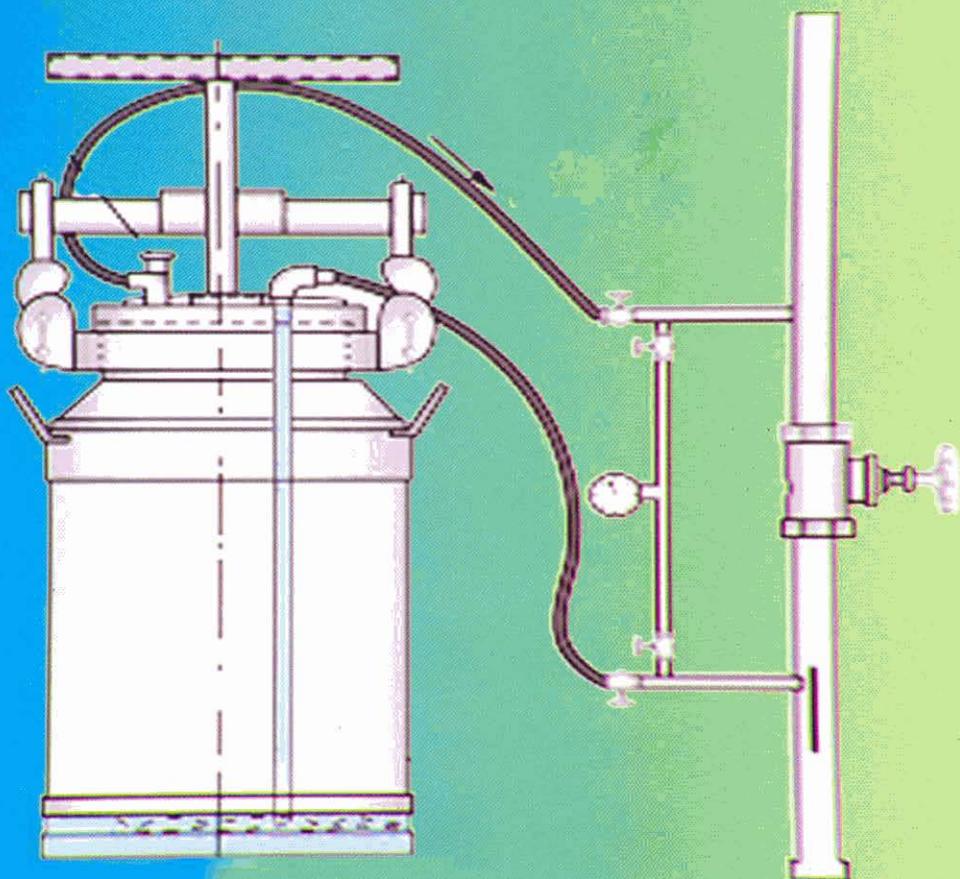


FERTIRRIGAÇÃO



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto

Presidente

Silvio Crestana

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Hélio Tolline

Ernesto Paterniani

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Silvio Crestana

Diretor-Presidente

Tatiana Deane de Abreu Sá

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Diretores-Executivos

Embrapa Meio-Norte

Valdemício Ferreira de Sousa

Chefe-Geral

Aderson Soares de Andrade Júnior

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Paulo Henrique Soares da Silva

Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios

Valdomiro Aurélio Barbosa de Souza

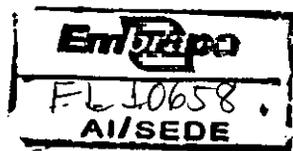
Chefe-Adjunto de Administração

Embrapa

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

ISSN 0104-9046

Dezembro, 2005



Documentos 128

FERTIRRIGAÇÃO

Valdemício Ferreira de Sousa
Francisco José de Seixas Santos
Otávio Alvares de Almeida

Teresina, PI
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires,

Caixa Postal: 01

CEP 64006-220 Teresina, PI.

Fone: (86) 3225-1141

Fax: (86) 3225-1142

Home page: www.cpamn.embrapa.br

E-mail: sac@cpamn.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Luiz Fernando Carvalho Leite

Secretária-Executiva: Ursula Maria Barros de Araújo

Membros: Alitieni Moura Lemos Pereira, Angela Pucknik Legat,
Humberto Umbelino de Sousa, Semíramis Rabelo Ramalho Ramos,
José Almeida Pereira, Rosa Maria Cardoso Mota Alcântara

Supervisor editorial: Lígia Maria Rolim Bandeira

Revisor de texto: Lígia Maria Rolim Bandeira

Normalização bibliográfica: Orlane da Silva Maia

Editoração eletrônica: Jorimá Marques Ferreira

1ª edição

1ª impressão (2005): 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 / Valdemício Ferreira de Sousa, Francisco José de Seixas Santos, Otávio Alvares de Almeida. - Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2005

40 p. ; 21 cm. - (Documentos Embrapa Meio-Norte. ISSN 0104886X ; 128)

1. Fertilização. 2. Fertilizante. 3. Equipamento de irrigação.
4. Nutriente. 5. Nutrição vegetal. I. Santos, Francisco José de Seixas. II. Almeida, Otávio Álvares. III. Embrapa Meio-Norte IV Título. V. Série.

CDD 647.995 (21. ed.)

© Embrapa, 2005

Autores

Valdemício Ferreira de Sousa

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e
Drenagem, Embrapa Meio - Norte
Caixa Postal 01, CEP 64006-220, Teresina, PI.
valdemicio@cpamn.embrapa.br

Francisco José de Seixas Santos

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Irrigação e
Drenagem, Embrapa Meio - Norte, BR 343, km 35,
Zona Rural, Cx Postal 341, CEP 64200-970 Parnaíba-PI.
seixas@cpamn.embrapa.br

Otávio Alvares de Almeida

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e
Drenagem, Embrapa Mandioca e Fruticultura
Caixa Postal 07, CEP 44380000, Cruz das Almas, BA.

Apresentação

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 e à cultura. Essa característica permite uma aplicação adequada e uniforme de fertilizantes com a água de irrigação. Além disso, permite também o acompanhamento e controle dos nutrientes no perfil do solo e seus efeitos na interface solo, água e planta.

Os equipamentos são instalados, normalmente, na estação de controle ou nas extremidades das unidades operativas de irrigação, quando existem vários cultivos na mesma propriedade ou esses se encontram dispersos. Esses equipamentos também podem ser utilizados para incorporar à água de irrigação outras substâncias como corretivos químicos, nematicidas e pesticidas, necessárias aos cultivos. Em qualquer situação devem-se instalar filtros de tela ou de disco após o injetor de fertilizantes utilizado, para evitar que passe às linhas de irrigação as possíveis impurezas contidas nos fertilizantes.

O uso adequado da fertirrigação permite aos produtores uma série de vantagens, destacando-se: a economia de mão-de-obra, de fertilizantes, de energia; o aumento da eficiência de atividade e menos riscos de contaminação do meio ambiente.

Este documento apresenta uma abordagem técnica sobre a fertirrigação com ênfase aos métodos e equipamentos para aplicação de fertilizantes e outros produtos químicos, preparo e aplicação da solução fertilizante, além do manejo e monitoramento da prática em campo.

Valdemício Ferreira de Sousa
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

Sumário

Fertirrigação	9
Introdução	9
Sistemas e equipamentos para aplicação de fertilizantes	10
Transformação de energia	11
Diferencial de pressão	12
Tanque de derivação de fluxo ou tanque de fertilizantes	12
Pressão negativa	14
Pressão positiva	15
Bombas volumétricas ou de deslocamento positivo	15
Bomba injetora de ação hidráulica por pistão - Dosatron	17
Método combinado ou composto	21
Manejo da fertirrigação	23
Necessidades de nutrientes	23
Marcha de absorção de nutrientes	25
Frequência de fertirrigação	25
Concentração da solução	27
Aplicação da solução nutritiva	30
Monitoramento da fertirrigação	32
Referências Bibliográficas	39

FERTIRRIGAÇÃO

Valdemício Ferreira de Sousa

Francisco José de Seixas Santos

Otávio Alvares de Almeida

Introdução

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

A fertirrigação adapta-se bem a diferentes sistemas de irrigação, sejam eles fixos, semi-fixos ou móveis. No entanto, a aplicação dessa técnica é mais recomendada para os sistemas de irrigação localizada seguido por aspersão, principalmente nos sistemas fixos. A utilização desse método de irrigação eleva a eficiência do sistema, reduz as perdas dos fertilizantes por lixiviação, melhora o controle da concentração de nutrientes no solo e economiza mão-de-obra e energia. São vários os aspectos favoráveis à aplicação de fertilizantes através 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.

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. Essas características são importantes no manejo operacional do sistema, na uniformidade da distribuição de fertilizantes, na eficiência do uso dos nutrientes pela cultura e na preservação ambiental.

Sistemas e equipamentos para aplicação 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. Dentre esses, podem-se destacar o venturi, as bombas volumétricas, e o diferencial de pressão.

Transformação de energia

Este 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 pressão. Esse processo de transformação de energia ocorre mediante perda de energia, a qual deve ser mínima para que o método torne-se eficiente. Esse processo de transformação de energia requer a utilização de peças ou equipamentos especiais acoplados na 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 (Figura 1). A diferença de pressão é originada 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 (1) da

continuidade, a qual pressupõe que a vazão no ponto 1 seja igual à vazão no ponto 2 (Figura 1):

$$Q_1 = Q_2 = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \dots\dots\dots (1)$$

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 $Q_1 = Q_2$ é constante e a área A_1 (tubulação) é infinitamente 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, $V_2 > V_1$. 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.

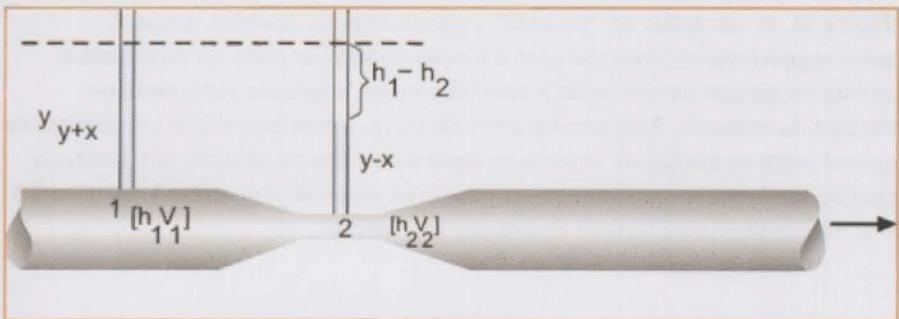


Figura 1. Detalhe do sistema hidráulico de um venturi.

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, que dificulta ou impossibilita a injeção do fertilizante. Entretanto, existem soluções alternativas para contornar essa limitação.

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 ou tanque de fertilizantes

Os tanques de derivação de fluxo são tanques hermeticamente fechados, contendo a solução fertilizante, normalmente são metálicos ou de material plástico reforçado com fibra de vidro para suportar as altas pressões de operação da linha de irrigação, conectados a estas através de um sistema "by pass" (Figura 2). 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. Para desviar parte do fluxo, é preciso instalar um registro de gaveta entre os pontos de entrada de água e da 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.

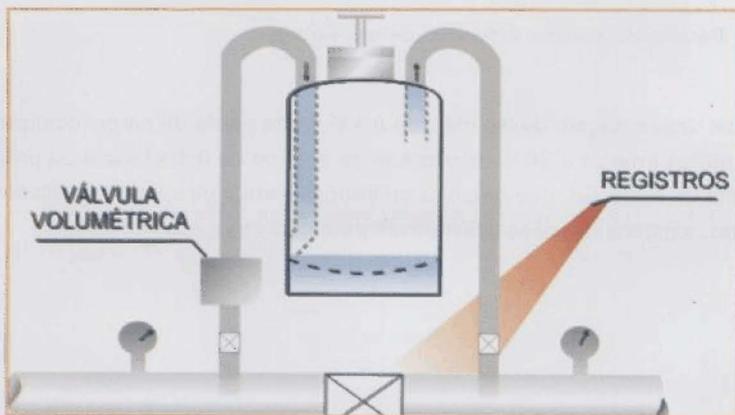


Figura 2. Esquema de um tanque de derivação de fluxo.

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.

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. Pesquisadores da Embrapa-CNPAl (Embrapa Meio-Norte) desenvolveram e calibraram um tanque de derivação de fluxo a partir de um latão de leite (Figura 3) que funciona bem com algumas vantagens, como a tampa larga, que facilita a operação de preparo da solução e limpeza do tanque, um sistema de entrada e saída de água que proporciona uma melhor mistura, dissolução da solução fertilizante e expulsão do ar.

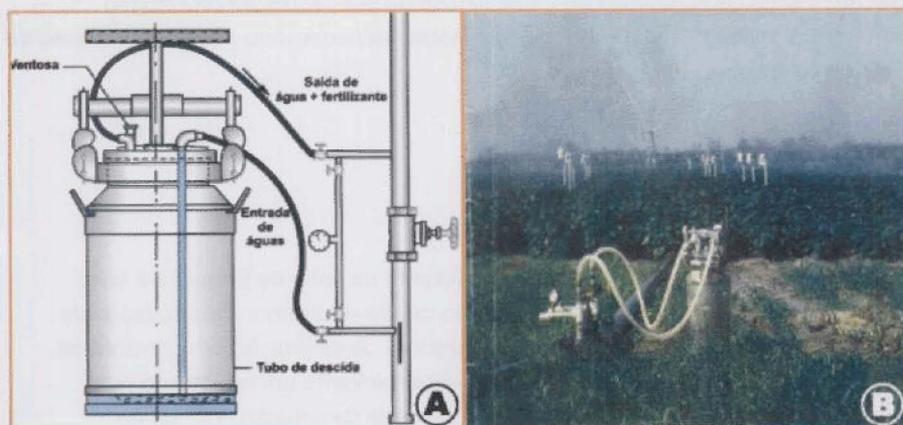


Figura 3. Esquema do tanque de derivação de fluxo (A) e detalhe de instalação no campo (B).

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. 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 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.

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, é colocada 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, a qual pressiona a parede externa da bolsa plástica forçando a introdução da solução no fluxo da linha de irrigação, através de um bocal, mantendo constante a concentração.

Devido a essa 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.

Pressão negativa

Nesse método, a injeção da solução fertilizante na linha de irrigação é feito utilizando-se a pressão negativa ou vácuo criado no interior da tubulação de sucção da unidade de bombeamento (Figura 4). A calibração e o controle da entrada da solução fertilizante são efetuados mediante um registro, o qual permite a entrada de maior ou menor quantidade da solução contida no reservatório de dissolução, sendo que o volume introduzido é controlado por um hidrômetro.

Esse tipo de instalação apresenta uma série de inconvenientes e limitações. A primeira limitação está relacionada com possíveis riscos de contaminação da

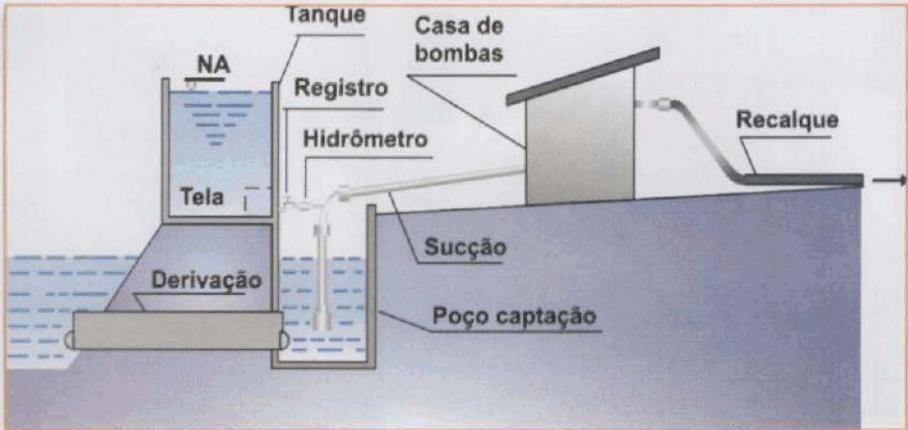


Figura 4. Esquema de um sistema de injeção por pressão negativa.

fonte de água pela solução fertilizante, devido ao 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. Neste caso, a solução fertilizante é injetada através de bombas injetoras, que podem ser acionadas por dispositivo elétrico ou hidráulico. No primeiro caso, não altera o funcionamento do sistema de irrigação, porém sua utilização na prática é mais difícil, devido à 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 (Figuras 5 e 6).



Figura 5. Bomba injetora de ação hidráulica por diafragma (TMB).



Figura 6. Bomba injetora de fertilizantes de acionamento hidráulico.

O processo de injeção da solução fertilizante ocorre através de deslocamento positivo por meio de êmbolo ou diafragma. Assim, 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 são normalmente utilizadas as caixas d'água residenciais de cimento amianto de volumes variáveis.

Quando acionadas eletricamente, a taxa de injeção e, em conseqüência, 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.

Bomba injetora de ação hidráulica por pistão - Dosatron

A utilização da bomba injetora por acionamento hidráulico por diafragma ou membrana, o dosificador hidráulico acionado por pistão também não requer energia elétrica para o seu funcionamento. Sua instalação se dá da mesma forma que o injetor Venturi, sendo indicados em instalações comunitárias, donde a água é fornecida com pressão muito superior à necessária, ou bem, quando se dispõe de um reservatório que se encontra em uma cota muito elevada. Devida à complexidade do equipamento, por possuir numerosas peças móveis, a qualidade da água é de fundamental importância já que, qualquer impureza pode afetar o bom funcionamento do injetor.

Na Figura 7, apresenta-se o modelo comercial Dosatron e os modos de instalação do equipamento. Este tem a capacidade de injetar soluções fertilizantes uniformemente na faixa de 0,02 a 250 L h⁻¹ em uma razão de diluição de 1:500 a 1:50, ou seja, de 0,2 a 2%.

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 (água de irrigação + fertilizante). 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 ser seguidas 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 equações 2 e 3.

em que: r - relação de injeção (% ou por ‰); q - vazão da solução injetada (L h⁻¹);

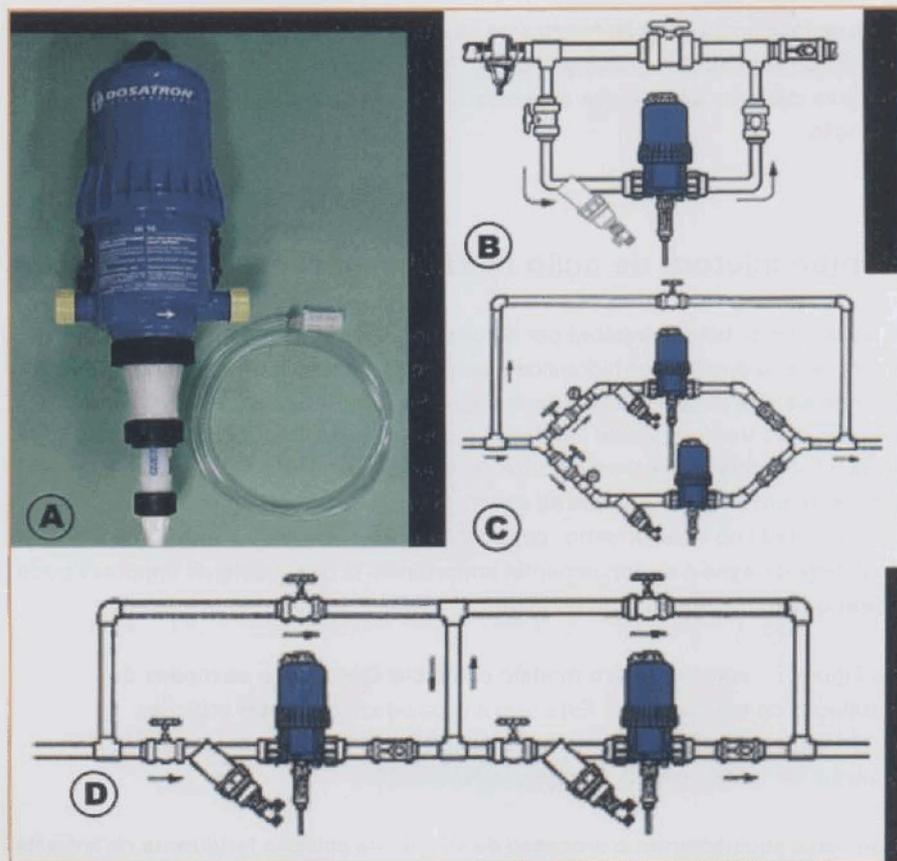


Figura 7. Bomba injetora de ação hidráulica por pistão (A); instalada em "by pass" (B); instalada em paralelo (C); instalada em série (D) (Foto: Francisco José de Seixas Santos; Vidal, 2003)

$$r = \frac{Q}{r} \quad (2)$$

$$C_f = C_i \cdot r \quad (3)$$

Q - vazão da linha de irrigação ou do sistema de irrigação ($L \cdot h^{-1}$); C_f - concentração da solução final, que no emissor ($g \cdot L^{-1}$); C_i - concentração da solução inicial, no reservatório ($g \cdot L^{-1}$).

Após a instalação do dosatron, é necessário ter os devidos cuidados para um

adequado controle e manejo da fertirrigação. As operações necessárias consistem em: (i) ajustar e preparar a solução inicial, (ii) regular a relação de injeção, (iii) determinar a vazão de injeção e (iv) calcular o tempo de fertirrigação. O dosatron pode ser instalado de várias maneiras: direto na própria linha de irrigação, em série, em paralelo e em derivação com by pass (Figura 8). Nesta última, parte da água de irrigação passa pelo dosador quando em funcionamento.

Para estabelecer a concentração da solução inicial, no reservatório (Ci), precisa-se eleger a relação ou razão de injeção (r) e a concentração final que deve sair no emissor (Cf) e aplicar a equação 3. A regulagem da relação de injeção é feita por meio de ajuste prévio na escala existente no próprio equipamento (Figura 9).

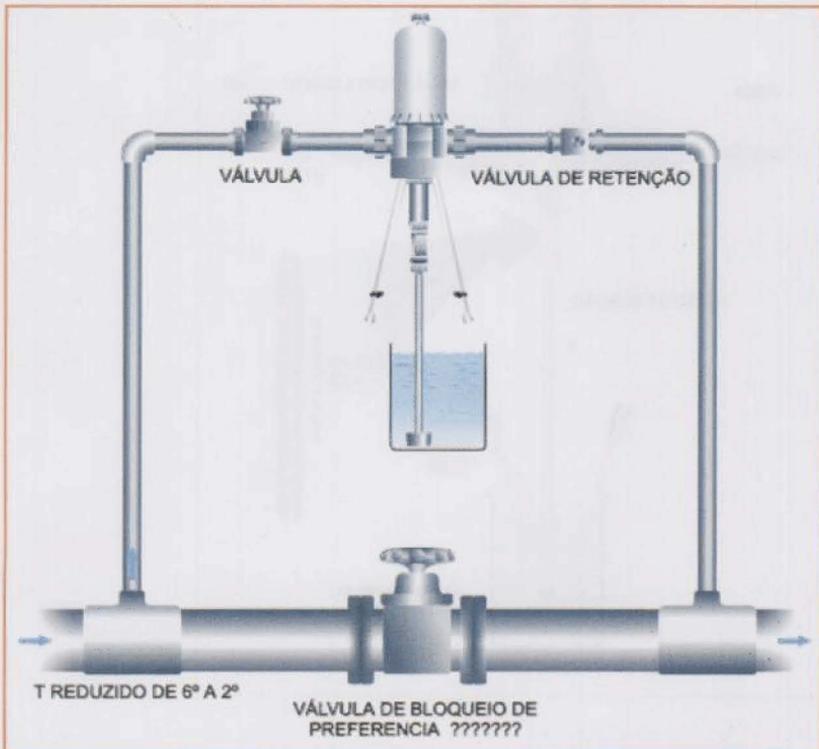


Figura 8. Sistema de instalação do dosatron na linha de irrigação.

A vazão de injeção da solução inicial é função da regulagem de r e da vazão do sistema de irrigação (Q) e pode ser calculada pela equação 3. O tempo de injeção da solução é extremamente importante no manejo de fertirrigação e pode ser calculado pela equação 4.

$$Tf = \frac{Mf \cdot 10^{-3}}{Q \cdot Cf} \quad (4)$$

em que: Tf - tempo de fertirrigação (h); Mf - quantidade de fertilizante por aplicação (kg); Q - vazão do sistema de irrigação ($L \cdot h^{-1}$); Cf - concentração da solução final ($g \cdot L^{-1}$).



Figura 9. Sistema de operacionalização e regulagem do dosatron para aplicar fertilizantes.

Exemplo

Considerando um sistema de fertirrigação com o Dosatron, em que: a vazão do sistema (Q) = 6000 L h⁻¹; a quantidade de fertilizante KNO₃ (Mf) = 3 kg, a razão de injeção (r) é 3% e a concentração da solução final (C_f) = 1,5 g L⁻¹. Calcular os parâmetros para estabelecer o manejo e controle da fertirrigação.

(a) Taxa de injeção da solução (q)

$$q = 0,03 \cdot 6000 \text{ L h}^{-1} = 180 \text{ L h}^{-1}$$

(b) Concentração da solução inicial, no reservatório (C_i)

$$C_i = \frac{1,5 \text{ gL}^{-1}}{0,03} = 50 \quad 50 \text{ gL}^{-1}$$

(c) Tempo de fertirrigação (T_f)

$$T_f = \frac{3\text{kg} \cdot 10^3}{600 \cdot \text{Lh}^{-1} \cdot 1,5\text{gL}^{-1}} = 0,333\text{h} = 20\text{min}$$

Método combinado ou composto

A base do seu funcionamento é a pressão existente na linha de irrigação oriunda do trabalho desenvolvido pelo conjunto motobomba do sistema de irrigação, por uma bomba auxiliar e pelo componente gravitacional devido a posição do injetor, localizado acima do ponto de injeção, conforme apresentado na Figura 10. Neste caso, a pressão no ponto de entrada do sistema (p_A) é menor que a pressão no ponto de injeção (p_B). Se a pressão do componente gravitacional for p_G positiva, o balanço de pressão no sistema de injeção pode ser representado pela equação 5.

$$p_B = p_A + p_G - hf(AB) \quad (5)$$

em que: p_A - pressão de injeção da água no sistema; p_B - pressão no ponto de injeção da solução na linha; p_G - pressão gravitacional; $h_f(AB)$ - perda de carga entre os pontos A e B.

Na Figura 10, observa-se que a linha principal encontra-se numa cota inferior à cota da bomba auxiliar, numa distância vertical (m), a uma distância ($m + n$) do tanque e $(m + n + L) = p_G$, do sifão. A perda de carga entre A e B é representada por $h_f(AB)$. A bomba auxiliar funciona com a energia produzida pelo conjunto motobomba principal.

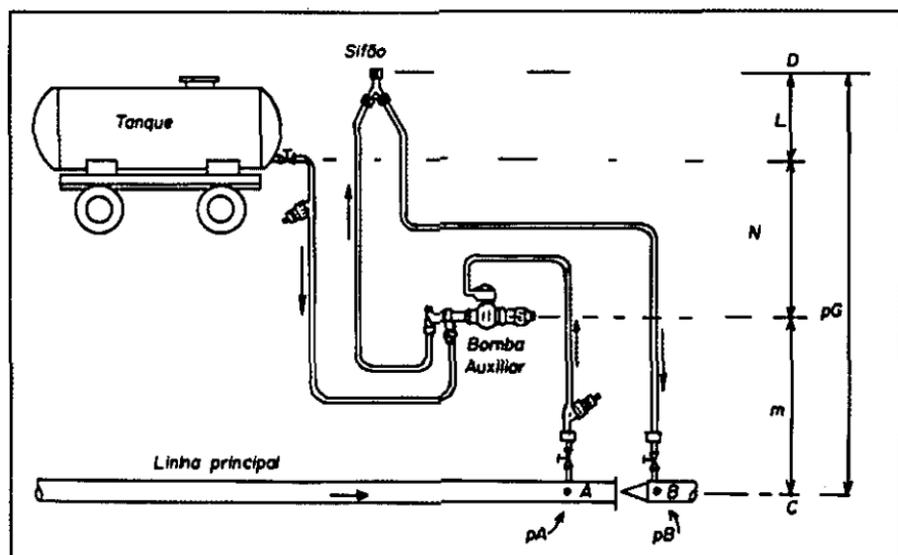


Figura 10. Esquema de instalação das peças, dos acessórios e das condições necessárias para a operacionalização do método combinado ou composto para injeção de fertilizante. (Fonte: Costa et al., 1987).

Manejo da fertirrigação

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

O planejamento e o manejo corretos da fertirrigação devem iniciar com o conhecimento da situação do solo, determinando-se a dosagem apropriada de nutrientes, frequência de aplicação, concentração da solução a ser injetada, tempo de aplicação e o acompanhamento da dinâmica de nutrientes no solo.

No manejo correto da fertirrigação, a aplicação de fertilizantes deve-se iniciar somente depois que o sistema de irrigação estiver equilibrado hidraulicamente, sob pena de comprometer a uniformidade da distribuição. Para minimizar problemas de corrosão e desenvolvimento de microorganismos no sistema, a fertirrigação deve ser finalizada antes do término da irrigação, para permitir que todo fertilizante seja lavado do sistema de irrigação. O término antes da irrigação também permite uma melhor incorporação do fertilizante no perfil do solo. Uma recomendação geral é a de somente irrigar durante o primeiro quarto do tempo total de irrigação, aplicar fertilizantes no segundo e no terceiro quarto, e irrigar no último quarto. Essa prática, no entanto, deve ser tomada apenas como guia e não como regra.

Necessidades de nutrientes



O planejamento e o manejo corretos da fertirrigação devem iniciar com os conhecimentos da planta, do solo e do clima, permitindo a determinação da dosagem apropriada de nutrientes. Na determinação das doses de nutrientes é necessário conhecer: (i) a extração pela cultura durante o ciclo, ou as necessidades nutricionais para atingir uma determinada produtividade; (ii) as quantidades de nutrientes que o solo pode fornecer para a cultura; (iii)

quantidades de nutrientes existentes na água de irrigação; (iv) eficiência da absorção de nutrientes nos diferentes métodos de irrigação (Vivancos, 1993; Papadopoulos, 1999). Em síntese, as doses de nutrientes podem ser determinadas utilizando a equação 6.

$$D_n = \frac{q_{nex} - q_{ns} - q_{na}}{E_f} \dots\dots\dots (6)$$

em que:

D_n - dose de nutrientes (kg); q_{nex} - quantidade de nutrientes exportados pela planta (kg); q_{ns} - quantidade de nutrientes fornecido pelo solo (kg); q_{na} - quantidade de nutrientes fornecido pela água de irrigação (kg); E_f - eficiência da fertirrigação.

Para estimar a capacidade de fornecimento de nutrientes de um determinado solo precisa-se conhecer (i) profundidade do sistema radicular da cultura a ser explorada; (ii) densidade do solo; (iii) área do solo ocupado pelas raízes; e (iv) nutrientes disponíveis, fornecidos pela análise de solo. Com essas informações, utilizando as equações eq. 7 e eq.8 calcula-se a massa de solo ocupada pelas raízes (eq. 7) e a quantidade de nutrientes disponíveis (eq. 4)

$$ms = z \cdot d \cdot 10^4 \dots\dots\dots (7)$$

$$q_{nd} = ms \cdot nd \cdot 10^3 \dots\dots\dots (8)$$

em que:

ms - massa de solo ocupada pelas raízes ($t \text{ ha}^{-1}$); z - profundidade do sistema radicular da cultura (m); d - densidade do solo ($t \text{ m}^{-3}$); q_{nd} - quantidade de nutrientes disponíveis ($kg \text{ ha}^{-1}$); nd - nutrientes disponíveis ($g \text{ t}^{-1}$).

Uma outra forma de seleção da dose de nutrientes é utilizar as recomendações de adubação provenientes da pesquisa, específica para cada cultura e região.

Marcha de absorção de nutrientes

Para efetuar um bom manejo da fertirrigação, é necessário conhecer como ocorre a distribuição da absorção dos nutrientes no ciclo da cultura. Devido a sua complexidade na determinação, são poucas as informações na literatura, 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 fornece uma boa aproximação.

Freqüência de fertirrigação

Uma das maiores vantagens da fertirrigação é a possibilidade da aplicação dos nutrientes recomendados de forma parcelada. As freqüências de aplicação de nutrientes ou parcelamento de nutrientes devem ser feitas de acordo com a marcha de absorção de nutrientes pela cultura nos seus diferentes estádios de desenvolvimento (Sousa & Sousa, 1992; Sousa & Sousa, 1993). Desta forma, para efetuar um bom manejo da fertirrigação, é necessário conhecer como ocorre a distribuição da absorção dos nutrientes no ciclo da cultura.

Entretanto, no âmbito geral, a freqüência da fertirrigação depende, dentre outros fatores, do tipo de fertilizante, solo, cultura, salinidade e sistema de irrigação. Fertilizantes com maior potencial de lixiviação, como os nitrogenados, devem ser aplicados mais freqüentemente. Todavia, por não implicar em aumento significativo de mão-de-obra, as principais fontes de nitrogênio e potássio podem ser misturadas e aplicadas simultaneamente. Para gotejamento em solos de textura arenosa, a fertirrigação deve ser realizada de um a dois dias, enquanto em solos de textura média e fina de dois a sete dias.

As aplicações mais freqüentes 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 devido a sua facilidade de perda no solo, principalmente nos solos de textura arenosa.

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 frequência de irrigação (Pizarro, 1987). 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 frequência. No entanto, não há nenhum problema se aplicar na mesma frequência de irrigação. A cultura a ser fertirrigada é um fator decisivo na definição da frequência de fertirrigação. A dinâmica de absorção de nutrientes de uma cultura de ciclo curto, como o meloeiro, difere da dinâmica de absorção de uma cultura perene, como uma mangueira.

O estado de salinidade do solo também deve ser observado; menores frequências de fertirrigação resultam em maiores quantidades de fertilizantes por vez, o que implica em um aumento da condutividade elétrica e do potencial osmótico da solução do solo, que podem exceder aos valores aceitáveis pelas plantas. Dependendo da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, poder-se-á manter uma maior ou menor frequência de fertirrigação. A Tabela 1 apresenta dados sobre o efeito da frequência de irrigação e de fertirrigação na salinidade do solo (Pizarro, 1987).

No caso da irrigação por aspersão, deve-se levar em conta que a frequência de fertirrigação deve ser menor ou igual à frequência de irrigação, sendo que os demais critérios para definição da frequência serão os mesmos abordados.

Tabela 1. Freqüência de fertirrigação e salinidade máxima da água na saída dos emissores em irrigação localizada.

Intervalo entre irrigações (dias)	Intervalo entre fertirrigações (dias)	Concentração (g L ⁻¹)	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)
1	1	1,5	2,3
1	2	2,0	3,1
1	3	2,5	4,0
1	4-7	4,0	6,3

Fonte: (Pizarro, 1987)

Concentração da solução

Uma vez definidos os tipos e as doses dos fertilizantes a serem aplicados via água de irrigação e verificada a compatibilidade entre os mesmos, 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., 1999). Para valores de pH acima de 7,5 pode ocorrer precipitação de carbonatos de cálcio e de magnésio, provocando entupimento dos emissores e das linhas de irrigação (Coelho et al., 2000). 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.

A concentração da solução nutritiva que deve ser injetada no sistema de irrigação pode ser determinada pela equação 9.

$$CSI = qi \cdot CAI \cdot Qs \dots\dots\dots (9)$$

em que:

CSI - concentração da solução a ser injetada (g L^{-1}); CAI - concentração de nutriente na água de irrigação (g L^{-1}); q_i - vazão de injeção da solução na linha de irrigação (L h^{-1}); e Q_s - vazão do sistema de irrigação (L 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) (eq. 10). 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} , considerado o limite de solubilidade dos fertilizantes (Sousa et al., 1999). Em termos gerais, a concentração da solução final (que chega à planta), não deve ultrapassar a $0,70 \text{ g L}^{-1}$ e, no caso de irrigação por gotejamento, esta deve ser mantida sempre entre $0,20$ e $0,40 \text{ g L}^{-1}$, uma vez que os emissores são mais susceptíveis a obstruções (Pizarro, 1987). Na prática, tem-se observado que as concentrações das soluções no tanque têm variado de 4 g L^{-1} até acima de 30 g L^{-1} do nutriente, mas sempre obedecendo à solubilidade do fertilizante utilizado (Coelho et al., 2000).

$$q_i = r_i \cdot Q_s \quad \dots\dots\dots (10)$$

Se o tempo de fertirrigação for estabelecido em função do tempo de irrigação, pode-se calibrar o injetor para a determinada vazão de injeção da solução (q_i) e, posteriormente, verificar se a razão de injeção está dentro da concentração recomendada.

No caso da utilização de injetores em que a concentração da solução se mantém constante durante o tempo de injeção, a determinação da concentração final de nutriente na água de irrigação aplicada à planta (CAI) pode ser determinada pela equação 11.

em que:

$$CAI = \frac{QN}{Q_s \cdot T_f} \quad \dots\dots\dots (11)$$

QN - quantidade de nutriente a ser aplicada (kg); T_f - tempo de fertirrigação adotado (h); e Q_s - vazão do sistema de irrigação é dada em (L h^{-1}).

Conhecendo a razão de injeção (r_i) e a concentração do nutriente na água de irrigação (CAI), pode-se também determinar a concentração da solução a injetar (CSI), pela equação 12.

$$CSI = \frac{CAI}{n} \dots\dots\dots (12)$$

A concentração do fertilizante na água de irrigação (CFAI) é determinada considerando a concentração do nutriente no fertilizante selecionado. Pode-se usar um valor de r_i de 0,01. Caso a concentração da solução a ser injetada não seja adequada ($CSI > 250 \text{ g L}^{-1}$), adota-se um outro valor para r_i . O volume de água necessário para se obter a solução a ser injetada é dada pela equação 13:

$$V = \frac{QFA}{CFSI} \dots\dots\dots (13)$$

em que:

V - volume de água necessário (L); QFA - quantidade do fertilizante a ser aplicada (kg); e CFSI - concentração do fertilizante na solução a ser injetada (kg L^{-1}).

O volume total necessário para a solução será o volume de água (V) somado ao volume do adubo, que pode ser obtido pela densidade (d_a) do mesmo. A densidade do fertilizante pode ser obtida pela equação 14.

$$df = \frac{vf}{Vf} \dots\dots\dots (14)$$

em que:

df - densidade do fertilizante (kg L^{-1}); mf - massa do fertilizante (kg); e vf - volume do fertilizante (L).

A densidade da uréia, por exemplo, é de $0,724 \text{ kg L}^{-1}$, e do cloreto de potássio $1,074 \text{ kg L}^{-1}$. O volume total da solução a ser injetada será ($v + v_a$), em que v é o volume de água utilizado para dissolver o fertilizante. Com base no volume

total e no volume disponível (tanque ou reservatório de fertirrigação), calculam-se quantos recipientes são necessários para preparar a solução nutritiva.

No caso da utilização de injetores de fertilizantes que aplicam a solução em concentração variada ao longo do tempo de injeção como, por exemplo, o tanque de derivação de fluxo, Shani (1981) sugere que o volume de água que deve passar dentro do tanque durante a fertirrigação seja quatro vezes o volume do tanque. Pela resolução da equação que expressa a redução da concentração no tanque durante o tempo de injeção, a concentração final no tanque pode ser determinada pela equação 15.

$$C_t = C_0 e^{-x} \quad \dots\dots\dots (15)$$

em que:

C_t - concentração do fertilizante na solução após o tempo t ; C_0 - concentração inicial do fertilizante; x - razão entre o volume de água que passa pelo tanque durante o tempo t e o volume do tanque.

Aplicação da solução nutritiva

Depois de determinadas as quantidades de nutrientes, a seleção dos fertilizantes a serem aplicados na cultura, a frequência de fertirrigação, os cálculos das concentrações e o tempo de fertirrigação, deve-se proceder a seleção do injetor a ser utilizado na aplicação dos fertilizantes.

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. De maneira geral, recomenda-se iniciar a aplicação da solução nutritiva após o funcionamento em torno de 25% do tempo de irrigação (T_i). A aplicação da solução, ou a fertirrigação propriamente dita, deve ser feita em 50% do tempo de irrigação, sendo o restante do tempo (25% de T_i) utilizado para a lavagem da tubulação. O tempo de fertirrigação nunca deve ser inferior a 30 minutos (Shani, 1981; Frizzone et al., 1985), no entanto avaliações de campo têm mostrado que a estabilização da concentração da solução nas linhas de irrigação ocorre depois de 22 minutos de funcionamento da prática

(Sousa et al., 2000). Portanto, para tempos de fertirrigação muito pequenos ocorre risco de baixa uniformidade de distribuição de fertilizantes ao longo da área, afetando o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

A aplicação de fertilizantes tradicionalmente usados em adubação convencional, por não serem apropriados para fertirrigação, pode acarretar solubilidade não adequada. Nesse caso, deve-se dar preferência aos mais solúveis e, no caso do uso de bombas injetoras ou venturi, pode-se manter a solução dentro do tanque aberto sob agitação contínua durante a injeção para evitar perdas. No caso da bomba injetora hidráulica, deve-se usar o filtro na admissão da água à bomba e na mangueira de sucção. Uma vez terminada a fertirrigação, mantém-se a bomba em funcionamento com água limpa por pelo menos 5 minutos, de forma a assegurar a limpeza da mesma. Pode-se também preparar a solução com antecedência à fertirrigação em um reservatório, deixando a mesma em repouso durante 20 a 30 minutos. Após esse período, transfere-se a solução para outro reservatório, de onde será bombeada para o sistema de irrigação, deixando no primeiro apenas a parte decantada. Nesse procedimento, a eficiência da fertirrigação é menor em função da parte de nutrientes que ficou sedimentada no reservatório.

Para fazer a manutenção do sistema de injeção de fertilizantes, no caso de bombas injetoras de acionamento hidráulico, deve-se conectar a mangueira de entrada de água da bomba injetora à tubulação, deixando a mangueira de injeção desconectada, e em seguida a mangueira de sucção deve ser colocada num recipiente contendo água limpa. A bomba deve funcionar por 15 minutos, após os quais a mangueira é desconectada. O exterior da bomba pode ser limpo usando produto anticorrosivo nas partes metálicas e as partes móveis metálicas da bomba podem ser lubrificadas.

Monitoramento da fertirrigação

O monitoramento da fertirrigação deve ser feito para avaliar o manejo em si, com base nos impactos causados no solo que possam influenciar o desenvolvimento das plantas, que deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes observando a concentração da solução injetada, a concentração da solução final na saída dos emissores, a uniformidade de distribuição ao longo da área e a distribuição dos nutrientes no perfil do solo.

O acompanhamento da concentração da solução injetada e na saída dos emissores deve ser feito com amostragens coletadas durante a aplicação e medindo a condutividade elétrica (CE) com um condutivímetro portátil, observando a uniformidade dos valores e se esses não estão muito diferentes do planejado.

A uniformidade de distribuição deverá ser feita a cada dois meses para detectar possíveis entupimentos na tubulação e emissores. A uniformidade de distribuição adequada deverá estar acima de 90%. No caso de obter valores menores, as causas podem ser, variação de pressão no sistema de irrigação, vazamentos na tubulação, emissores com defeitos e/ou com entupimento. Ao constatar esses defeitos, as correções devem ser feitas imediatamente.

Em cultivos com fertirrigação, é muito importante realizar o acompanhamento da dinâmica ou distribuição 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 poder prevenir danos ambientais como a salinização dos solos e a contaminação do lençol subterrâneo e fontes de água superficiais. Esse acompanhamento pode ser feito através de amostragens do solo e posterior determinação da condutividade elétrica e concentração de íons, utilizando o extrato de saturação do solo ou amostragens de solução do solo, com o uso de extratores de solução do solo. Os extratores são confeccionados com cápsulas porosas utilizadas em tensiômetros e são de fácil manuseio (Figura 11).

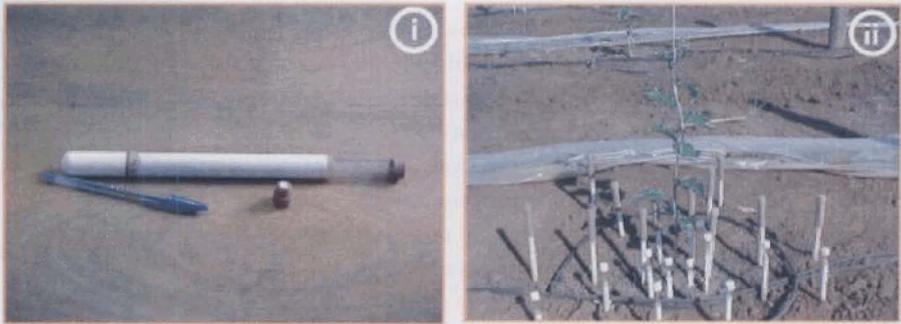


Figura 11. Extratores de solução confeccionados com cápsula porosa de cerâmica e tubo de pvc rígido, com a borracha de vedação na extremidade (i) e instalados em torno de plantas de maracujazeiro (ii).

Depois de os extratores serem instalados no solo nas profundidades desejadas, a extremidade superior deve ser fechada e feita a extração do ar interno para facilitar a entrada da solução pela cápsula. A retirada da solução pode ser feita com pequenas bombas de vácuo ou com seringas descartáveis, o que compreende: (i) fazer um vácuo com uma tensão em torno de 70 kPa, podendo utilizar uma seringa descartável; (ii) em torno de 24 horas após o vácuo, proceder à retirada da solução do extrator, utilizando a mesma seringa acoplada a uma mangueira flexível para posterior análise em laboratório (Figura 12).



Figura 12. Procedimento da extração de solução do solo utilizando extratores de cápsula porosa e seringa descartável (i) vácuo e (ii) extração da solução.

Recomenda-se a utilização de pelo menos uma bateria de extratores de solução, instalados em pelo menos duas profundidades. Pode-se instalar um extrator na profundidade de maior concentração de raízes, entre 0,50 m e 0,60 m para frutas como manga, citros, banana e a 0,40 m para o caso do maracujá e do mamão. O outro extrator deve ser instalado a uma profundidade tal que permita detectar fixação de nutrientes, portanto, abaixo da região efetiva da absorção de nutrientes pelas raízes. Os extratores devem ser instalados a 0,10 m do gotejador entre o mesmo e a planta para o caso de gotejamento junto à fileira de plantas. No caso de microaspersão, se o emissor for localizado próximo da planta, instalar os extratores a 0,50 m da planta; se o emissor for localizado entre quatro plantas, manter a distância do extrator ao microaspersor de 0,50 m. Além dos extratores de solução, podem-se utilizar também sensores de condutividade elétrica e de pH para fazer o monitoramento da distribuição de nutrientes e da variação de acidez no perfil do solo (Figura 13). Esses sensores são instalados no solo na profundidade desejada e, por meio de visor de leituras, podem-se acompanhar frequentemente as variações da condutividade elétrica e do pH da solução do solo.

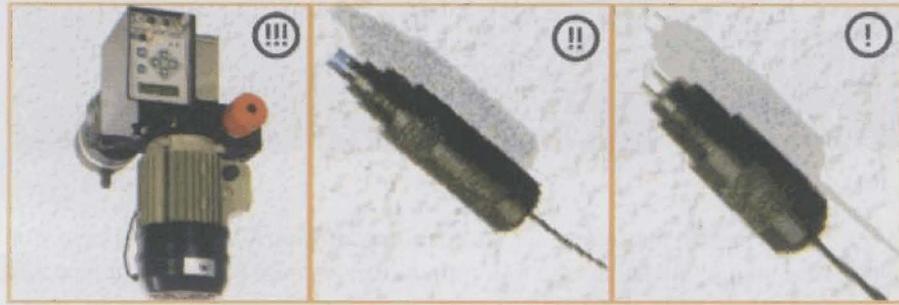


Figura 13. Sensores de condutividade elétrica(I) e pH (II) e respectivo leitor conectado a uma bomba elétrica para injeção de fertilizantes (III).

Exemplo prático: Calcular a quantidade de nutriente (N) a ser aplicado por fertilização ao longo do ciclo de desenvolvimento do meloeiro para a seguinte situação:

- Ciclo da cultura: 65 dias.
- Produtividade esperada: 40 t ha⁻¹.

- Sistema de irrigação: gotejamento, vazão 3,75 L h⁻¹ gotejador-1.
- Vazão do sistema de irrigação: 40 m³ h⁻¹.
- Área da cultura: 1 ha.
- Tanque de fertilizante disponível: 100 L.
- Vazão da bomba injetora: 60 L h⁻¹.
- Frequência de irrigação: 2 dias.
- Solo: textura média.
- Análise de solo: 40 mg dm⁻³ de N.
- Concentração da solução desejada na saída do gotejador: 100 ppm de N.
- Fonte de nitrogênio disponível: uréia (45% de N).

Para cultivar de ciclo de 65 dias, irrigação por gotejamento e solo de textura média a Tabela 2 recomenda o seguinte parcelamento de nutrientes:

Tabela 2. Distribuição percentual de fertilizante (N) nas fases do ciclo da cultura de melão.

Nutriente	Ciclo (dias)							
	1-6	7-13	14-20	21-27	28-34	35-41	42-48	49-55
	Quantidade relativa de nutriente (%)							
N	3	4	6	15	27	30	10	5

A quantidade de N, que é determinada em função da produtividade esperada, será de 100 kg ha⁻¹ (2,5 kg t⁻¹ x 40 t ha⁻¹). Para irrigação por gotejamento em solo de textura arenosa, considerando que o turno de rega é de 2 dias, a frequência de fertirrigação adotada será de 3 dias.

A quantidade de nutrientes a ser aplicada em cada fase da cultura é determinada pela equação 16, cujos valores desse exemplo encontram-se apresentados na Tabela 3.

$$Q_{nf} = Q_t \times Q_r \dots\dots\dots(16)$$

em que:

Qnf - quantidade de nutrientes a ser aplicada em cada fase da cultura (kg ha⁻¹).

Qt - quantidade total recomendada de nutriente (kg ha⁻¹).

Qr - quantidade relativa de nutriente (%).

Tabela 3. Quantidade de nutriente (N) nas fases do ciclo da cultura de melão.

Nutriente	Ciclo (dias)							
	1-6	7-13	14-20	21-27	28-34	35-41	42-48	49-55
	Quantidade de nutrientes (kg ha ⁻¹)							
N	3,00	4,00	6,00	15,00	27,00	30,00	10,00	5,00

O número de aplicações em cada fase do ciclo da cultura e a quantidade de nutriente a ser aplicada por cada fertirrigação podem ser determinados através das equações 17 e 18.

$$\text{Nap} = \frac{\text{Ndf}}{\text{F}} \dots\dots\dots (17)$$

em que:

Nap - número de aplicações; Ndf - número de dias na fase da cultura (dia); F- frequência de fertirrigação (dia).

$$\text{Qna} = \frac{\text{Qnf}}{\text{Nap}} \dots\dots\dots (18)$$

em que:

qna - quantidade de nutriente por aplicação (kg); Qnf - quantidade de nutriente na fase da cultura (kg).

Para determinar a quantidade do fertilizante ou do adubo para cada aplicação na fertirrigação, basta dividir a quantidade qna pela concentração do nutriente no fertilizante, como mostra a equação 19.

$$qfa = \frac{qna}{cn} \cdot 100 \quad \dots \dots \dots (19)$$

em que:

qfa - quantidade de fertilizantes por fertirrigação (kg); cn - concentração do nutriente no fertilizante (%).

No presente exemplo, com a frequência de 3 dias, a quantidade de N por fertirrigação na fase de 1 - 6 dias será (Tabela 4):

$$Nap = \frac{6}{3} = 2 \text{ aplicações}$$

$$qna = \frac{3,0}{2} = 1,5 \text{ kg de N por aplicação}$$

Sendo a uréia o fertilizante selecionado (cn = 45%), a quantidade desta por aplicação será:

$$qfa = \frac{1,50}{45} \cdot 100 = 3,33 \text{ kg de uréia por aplicação}$$

Este procedimento pode ser aplicado para as demais fases do ciclo da cultura.

Tabela 4. Quantidades de nutriente (N) e fertilizante (uréia) por aplicação

Nutriente Fertilizante	Ciclo (dias)							
	1-6	7-13	14-20	21-27	28-34	35-41	42-48	49-55
	Quantidade de nutrientes (kg ha ⁻¹ fertirrigação ⁻¹)							
N	1,50	2,00	3,00	7,50	13,50	15,00	5,00	2,50
Uréia	3,33	4,44	6,66	16,65	29,97	33,30	11,11	5,55

O cálculo do volume de água necessário para dissolver o fertilizante a ser aplicado por fertirrigação pode ser feito pela equação 20.

$$V_t = \frac{qfa \cdot q_i}{Q \cdot cs} \dots\dots\dots (20)$$

Em que:

V_t - volume total de água (L); qfa - quantidade de fertilizante (g), q_i - vazão da bomba injetora de fertilizante ($L h^{-1}$); Q - vazão do sistema de irrigação ($L h^{-1}$); cs - concentração das solução (g L^{-1}).

Nesse caso para dissolver 3,33 kg de uréia referente à fase do ciclo de 1-6 dias para atender concentração de 100 ppm (0,1 g L^{-1}) na saída dos gotejadores, o volume total de água será:

$$V_t = \frac{1500.60}{40000.0,1} = 22,55 \text{ litros}$$

Assim, devem ser usado 15 litros de água para dissolver 1 kg de N (2,2 kg de uréia) nas aplicações de 1-6 dias. O mesmo procedimento deve ser feito com as aplicações das fases seguintes. Como no caso da fase do ciclo de 28-34 dias, em que qna é 13,5 kg de N, o volume de água necessário será:

$$V_t = \frac{13500.60}{40000.0,1} = 205,50 \text{ litros}$$

Cada aplicação de 13,50 kg de N (29,97 kg de uréia) deverá ser feita em 202,50 litros de água. Como o volume disponível do reservatório para a fertirrigação (do exemplo) é de 100 litros, deverão ser feitas duas aplicações de 100 litros, onde as quantidades de uréia para ambos os volumes serão iguais e determinadas da seguinte maneira.

$$M_{100} = \frac{100.29,97}{205,5} = 14,8 \text{ kg}$$

Os mesmos cálculos devem ser feitos para todas as aplicações. No caso de se aplicar conjuntamente uréia e cloreto de potássio, o cálculo do volume de água a ser usado para o cloreto de potássio é feito da mesma forma, sendo que o volume de solução a ser usado deve referir-se ao maior volume encontrado, isto é, se para a uréia obtiveram-se 100 litros e para o cloreto de potássio 120 litros, fazer opção por 120 litros e ajustar a concentração da uréia para tal volume.

Referências Bibliográficas

COSTA, E.F. da; FRAÇA, G.E. de; ALVES, V.M.C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: HERNANDEZ, F.B.T.; MORAES, J.F.L. de A.; LEANDRO, W.M. Irrigação: Momento atual e perspectiva. Jaboticabal: SECITAP, 1987. p.51-71.

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

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: Situação Atual e Perspectivas para o Futuro. In: FOLEGATTI, M. V. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.11-84.

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.1263-68, 1993.

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

SHANI, m. La fertilizacion combinada com el riego. Israel: Ministerio del Agricultura, 36p,1981.

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 fertirrigacao por gotejamento no meio-norte do Brasil. Teresina: Embrapa Meio - Norte, 1999 68p. (Embrapa Meio - Norte. Circular Técnica, 21).

SOUSA, V. F. de. Frequência de aplicação de N e K via água de irrigação pôr gotejamento no meloeiro (*Cucumis melo* L. cv. Eldorado 300) em solo de textura arenosa. Botucatu, 1993. 131p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de mesquita Filho".

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. P. Fertirrigação II: Tipos de produtos, aplicação e manejo. *Irrigação e Tecnologia Moderna*, v.47, p.15-20. 1992.

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. P. Fertirrigação: princípio e métodos de aplicação, vantagens e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., Ilhéus, 1993. Anais... Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993, p.2519-2528.

SOUSA, V. F. de; CONCEIÇÃO, M.A.F.; FOLEGATTI, M. V.; ALENCAR, C.M.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, C R. A. L. Distribuição de fertilizantes sob diferentes concentrações da solução aplicada via água de irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, Fortaleza, 2000, CD ROM... UFC/SBEA, Fortaleza, 2000.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. Irrigação localizada. Tradução de H.R. Gheyi; F.A.V. Damasceno; L.G.A. Silva Jr.; J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

VIDAL, I. Cálculos de soluciones y manejo de la fertirrigación. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1., 2003, João Pessoa. Minicurso... João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba/Centro de ciências Agrárias/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro de Pesquisa do Semi-árido, 2003. 74p.

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



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

