

José Maria Pinto¹
Ricardo Augusto Lopes Brito²
Davi José Silva³

1. Introdução

A irrigação teve avanço considerável nas últimas décadas tanto no que diz respeito ao aprimoramento de novos métodos de se levar água ao solo e as culturas, como no incremento de novas áreas irrigadas. Dentre as vantagens da irrigação está aquela que possibilita utilizar o próprio sistema de irrigação como meio condutor e distribuidor de produtos químicos como fertilizantes, inseticidas, herbicidas, nematicidas, reguladores de crescimento, entre outros, simultaneamente com a água de irrigação; prática conhecida atualmente, como quimigação.

Fertirrigação é o processo que consiste em introduzir uma solução com fertilizante via água de irrigação, e tem como objetivos, aplicar os nutrientes no volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura conforme a curva de absorção de nutrientes pela planta (SOUSA et al., 2011; LORENZ & MAYNARD, 1988). Também, deve permitir que a concentração na solução do solo seja suficiente para proporcionar a absorção dos elementos em quantidade necessária. Sua introdução agrega vantagens como melhoria da eficiência e uniformidade de aplicação de nutrientes, desde que o sistema de irrigação também tenha boa uniformidade de distribuição de água; possibilidade de redução na dosagem de nutrientes com a aplicação dos nutrientes no momento e na quantidade exatos requeridos pelas plantas; maior aproveitamento do equipamento de irrigação; menor compactação do solo e redução dos danos físicos às plantas com a redução do tráfego de máquinas dentro da área; redução de contaminação do meio ambiente devido ao melhor aproveitamento dos nutrientes móveis no solo quando aplicados via

¹Eng. Agric., DSc, Embrapa Semiárido, BR 428, km 152 Zona Rural, Caixa Postal 23, 56302-970 Petrolina, PE
E-mail: jose-maria.pinto@embrapa.br.

² Engenharia de Irrigação, Ph.D., Embrapa Milho e Sorgo, Cx. P. 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG.

³ Eng. Agr., DSc, Embrapa Semiárido, BR 428, km 152 Zona Rural, Caixa Postal 23, 56302-970 Petrolina, PE E-mail: davi.jose@embrapa.br

irrigação localizada; diminuição da utilização de mão de obra, dentre outras. A possibilidade de distribuir os nutrientes durante o ciclo do desenvolvimento fenológico permite sincronizar o suporte nutricional no solo com a exportação realizada pela planta (PINTO & SOARES, 1990; RAUSCHKOLB et al., 1976).

O princípio de aplicação de fertilizantes via 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 água de irrigação, viabilizando o acompanhamento e o controle dos nutrientes no perfil do solo e de seus efeitos na água, no solo e na planta.

Em alguns países, como os Estados Unidos, Israel, Espanha e Itália, a fertirrigação tornou-se uma técnica de uso generalizado, principalmente com o desenvolvimento de modernos sistemas de irrigação e de equipamentos de injeção que permitiram a expansão do número de produtos aplicáveis pela água de irrigação. A partir dos anos 1970, houve um aumento expressivo no uso de produtos químicos como: herbicidas, fungicidas, inseticidas, nematicidas, reguladores de crescimento e agentes de controle biológico via sistema de irrigação sob pressão (FRIZZONE et. al., 1994). Atualmente os bioinseticidas, biofungicidas, inseticidas e herbicidas podem ser aplicados via água para controle de pragas em culturas de expressão econômica nos trópicos.

A disseminação e a adoção da tecnologia global da fertirrigação é consequência das vantagens comparativas que o método oferece (COSTA et al., 1986), dentre elas, a de tornar-se mais econômico aplicar produtos químicos via água de irrigação do que utilizar qualquer outro método de aplicação convencional.

A fertirrigação oferece maior versatilidade para a aplicação de fertilizantes, podendo-se dosar rigorosamente as quantidades de nutrientes e fornecê-los, segundo as necessidades da planta, durante o seu ciclo de desenvolvimento (PAPADOPOULOS, 1999). É uma prática agrícola essencial ao manejo das culturas irrigadas, sendo uma das maneiras mais eficientes e econômicas da aplicação de fertilizantes às plantas, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Com a aplicação de fertilizantes em menor quantidade por vez e maior frequência,

ou seja, maior número de aplicações durante o ciclo, é possível manter uniforme o teor de nutrientes no solo durante todo o ciclo da cultura, aumentando a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, a sua produtividade (BERNARDO, 1995).

A fertirrigação pode ser mineral ou orgânica, conforme se trate de aplicação de fertilizantes químicos ou resíduos orgânicos como vinhaça, biofertilizantes, chorumes, águas residuais provenientes de esgotos domésticos (HERNANDEZ, 1993; FRIZZONE et. al., 1994).

O uso da tecnologia de fertirrigação está diretamente relacionado com a extensão de seu retorno financeiro e ambiental. O aumento na produtividade, a melhora na qualidade do produto, uso eficiente das aplicações e a economia de energia e de mão de obra, são fatores principais, diretamente relacionados à aceitação do procedimento da fertirrigação pelos agricultores (PAPADOPOULOS, 2001).

Os sistemas de irrigação pressurizados são os mais indicados para fertirrigação, destacando-se a irrigação localizada, especialmente por gotejamento dado suas características de aplicação de água pontual junto à zona de concentração das raízes das plantas, obedecendo às exigências da cultura, conforme as fases de seu ciclo (LOPEZ, 2001). Existem ainda vários outros aspectos favoráveis à aplicação de fertilizantes através dos sistemas de irrigação localizada, todavia, o mais importante é que a aplicação seja feita de forma correta, a fim de evitar obstruções na tubulação e nos emissores.

Os métodos de aplicação de produtos químicos através da água de irrigação foram desenvolvidos para proporcionar uma alta uniformidade de aplicação, que está relacionada a distribuição de água do sistema de irrigação, eficiente e econômica alternativa, quando comparada com às técnicas convencionais de aplicação. Os fatores que podem afetar a uniformidade de aplicação de fertilizante via água de irrigação são: as diferenças de pressão na linha lateral devido às perdas de carga localizadas, a ficção da água e fertilizante junto a parede do tubo, a variação na taxa de aplicação com o tempo de operação e entupimentos dos emissores (DENICULI et. al., 1992).

Os métodos de injeção de produtos químicos via água de irrigação podem ser classificados em diversos grupos (PIZARRO, 1996; HAMAN et. al., 1990). Didaticamente, podemos

classificar em: bomba centrífuga (bomba dosadora, pressão positiva e negativa), diferencial de pressão (Venturi), gravidade e/ou superficial (carga estável, variável e orifício).

2. Equipamentos para fertirrigação

Para a correta utilização da fertirrigação, são necessários alguns equipamentos e acessórios que variam de acordo com o sistema de irrigação utilizado (ANTUNES et. al., 2001). Para a escolha dos equipamentos, devem ser considerados: o volume a ser aplicado, a capacidade, a precisão de funcionamento, a forma de operação e a mobilidade do equipamento e a diluição dos fertilizantes (BRITO & PINTO, 2008).

Todo sistema de injeção de fertilizante requer um tanque ou reservatório para dissolução dos produtos químicos e um sistema de agitação para estes produtos. O material utilizado na confecção deste tanque deve resistir à corrosão causada pelos fertilizantes. O Sistema de agitação pode ser manual ou mecânico (Figura 1). Existem estudos para uso de aeração forçada para misturar os produtos a serem dissolvidos. O tamanho e o formato são funções da estratégia agrônômica da produção, tamanho da parcela a receber a fertirrigação, da capacidade de injeção e da solubilidade do fertilizante utilizado.

O volume mínimo do reservatório deve ser suficiente para a fertirrigação de uma unidade de rega, sem que se requeira o reabastecimento. O volume do reservatório pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$V = \frac{nQ_f * A}{sol} \quad (1)$$

Em que:

- V = Volume do reservatório, em m³;
- n = Número de aplicações;
- Q_f = Quantidade de fertilizantes, em kg ha⁻¹;
- A = Área a fertirrigar, em ha;
- sol = Solubilidade do fertilizante, em kg m⁻³



Figura 1 - Tanque para dissolução de fertilizantes (Foto: José Maria Pinto)

Para ser realizada a fertirrigação, é necessário que o sistema de irrigação seja dotado de um instrumento para injetar os adubos na água de irrigação, que difere segundo o tipo de energia exigida para seu funcionamento, o seu custo e a sua facilidade de manuseio.

Classificação dos equipamentos injetores:

- Aqueles que utilizam diferença de pressão (tanque de derivação de fluxo e injetor tipo Pitot).
- Aqueles que utilizam pressão efetiva negativa (injetor tipo Venturi).
- Aqueles que utilizam pressão efetiva positiva (bomba injetora e injeção por gravidade).

2.1. Tanque de derivação ou tanque fertilizante

O tanque de derivação de fluxo é um recipiente metálico ou de plástico com tampas herméticas, geralmente de forma cilíndrica e de volume variado, que são conectados em dois

pontos da tubulação principal do sistema de irrigação, (Figura 2). Consiste em um depósito onde se coloca a solução de fertilizantes a ser aplicada e que, uma vez fechado, alcança em seu interior a mesma pressão que a rede de irrigação. Por isso o tanque deve ser capaz de suportar a pressão estática e dinâmica da rede. O normal é que resista a cerca de 300 kPa, como mínimo, ainda que se recomenda suportar uma pressão de trabalho a cerca de 600 kPa (LOPEZ, 1998; LOPEZ et al., 1997). Seu volume varia entre 20 e 200 litros e o dimensionamento pode ser calculado, utilizando-se a equação:

$$V = \frac{Q_f * A_s}{C_f} \quad (2)$$

Em que:

V = volume do tanque de fertilizante, em litros;

Q_f = quantidade de fertilizantes a ser aplicada por irrigação, em kg ha^{-1} ;

A_s = área que o sistema irriga por vez, em ha;

C_f = concentração do fertilizante, em quilo de nutriente por litro de água (kg L^{-1}).



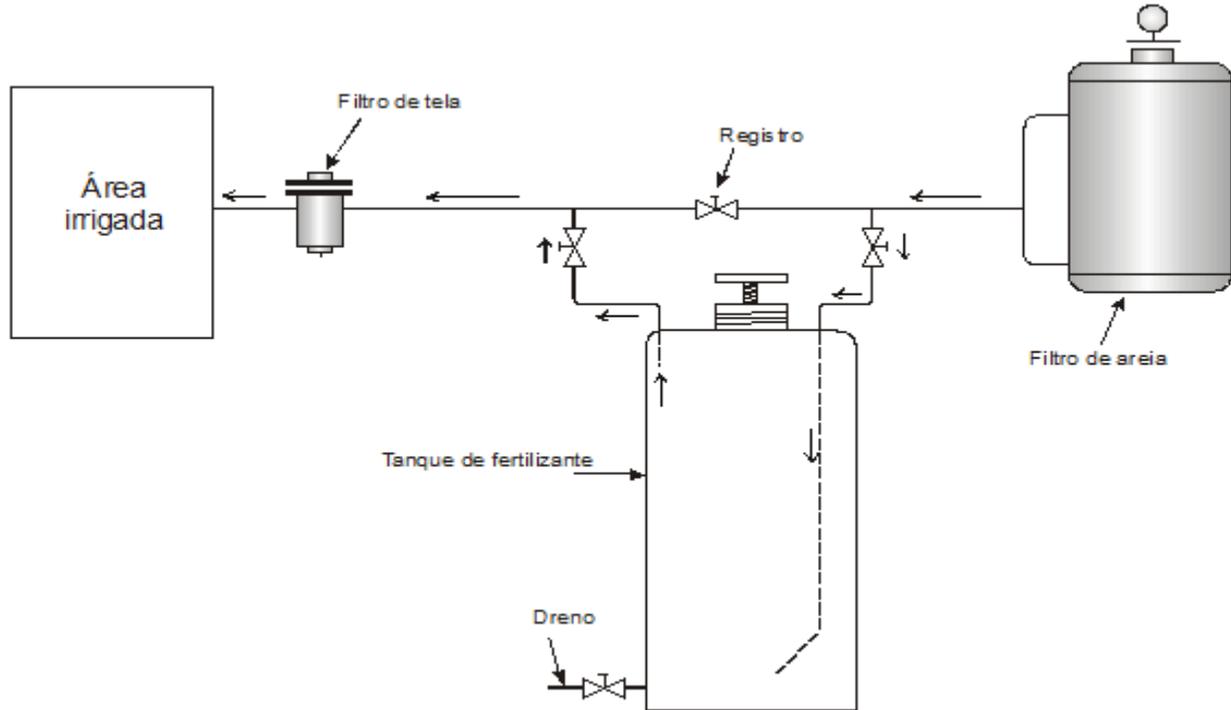


Figura 2 – Tanque de fertilizante (Desenho: José Cletis Bezerra)

Para haver injeção da solução fertilizante que está dentro do tanque é necessário que haja um diferencial de pressão entre o ponto de entrada da água do sistema no tanque, e o de saída da solução. A solução é incorporada na tubulação de descarga do sistema de irrigação através da segunda tubulação que sai do reservatório. Um registro de fechamento lento é instalado entre os pontos de entrada e saída das duas tubulações citadas, justamente para criar o diferencial de pressão, que permite o funcionamento do tanque pressurizado, que faz com que a água seja desviada em maior ou menor volume, para o interior do tanque. A tubulação de entrada conduz a água limpa para o tanque que contém a solução a ser aplicada e, após a diluição, ela passa a ser conduzida pela tubulação de saída e introduzida na tubulação principal do sistema de irrigação.

Estes dispositivos são colocados em paralelo com relação à tubulação de irrigação, sendo que a diferença de pressão da ordem de 10 e 50 kPa, entre a entrada e a saída do tanque de fertilizante, causadora do fluxo através do tanque, é conseguida por intermédio da instalação

de um registro na linha principal do sistema, entre os pontos de saída para o tanque e de retorno do tanque.

Para a injeção do fertilizante na tubulação de irrigação se fecha até certo ponto registro que está na linha principal, para que parte da água destinada à irrigação passe pelo tanque. Portanto, a vazão até o tanque se pode regular mediante o registro na linha principal. Como a vazão de água que entra no tanque é igual à vazão da solução fertilizante que sai do mesmo, evidentemente a solução de fertilizante que fica no tanque vai diluindo com o tempo de funcionamento e a concentração da solução incorporada à rede também vai diminuindo. A quantidade de fertilizante (Q_f) que permanece no interior do tanque, depois de transcorrido o tempo (T), é dada pela equação:

$$Q_f = Q_0 * e^{-\frac{qT}{V}} \quad (3)$$

Em que:

Q_0 = quantidade inicial de fertilizante (kg.L^{-1});

q = fluxo que circula através do tanque, em L h^{-1} ;

V = volume do tanque, em litros;

T = tempo transcorrido de aplicação, em hora;

e = base do logaritmo neperiano

Passando pelo tanque um volume de solução correspondente a duas vezes o volume do tanque, a quantidade de nutrientes incorporada à água de irrigação será de 95% e quando houver circulado quatro vezes o volume do tanque, a quantidade de nutrientes incorporada se aproxima de 98% do fertilizante inicial (Figura 3). Na prática, a concentração de fertilizante restante no tanque ao final da fertirrigação deve ser inferior a 2%.

O tempo será:

$$T = \frac{V}{q} * \ln \frac{Q_f}{Q_0} \quad (4)$$

A vazão, q ($L h^{-1}$), que deve passar através do tanque para aplicar o fertilizante pode ser calculada pela equação:

$$q = \frac{4V}{tr * ta} \quad (5)$$

Em que:

$tr * ta$ = tempo útil de aplicação de fertilizante, sendo:

tr = relação entre o tempo de aplicação de fertilizante e o tempo de aplicação da irrigação; que usualmente é de 0,8;

ta = tempo de aplicação da irrigação, em h

O tempo mínimo de aplicação da irrigação quando se está fazendo fertirrigação pode ser determinado pela equação:

$$ta = \frac{5V}{q} \quad (6)$$

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 velocidade. Esse processo ocorre mediante perda de energia, a qual deve ser mínima para que o método torne-se eficiente.

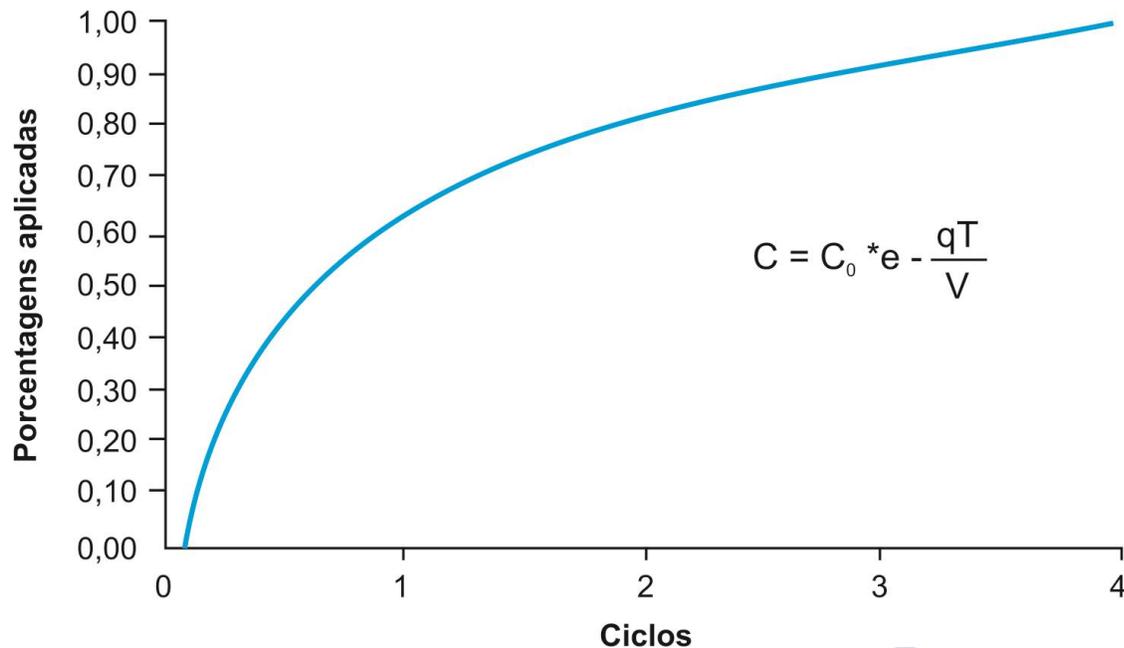


Figura 3 – Porcentagem de fertilizante aplicado por ciclo (Desenho: José Cletis Bezerra)

Vantagens do sistema é simplicidade de construção, operação e seu baixo custo. Não há necessidade de um suprimento externo de energia e não é sensível a mudanças na pressão ou na taxa de fluxo. As desvantagens do sistema são: a concentração variável de nutrientes causa um aumento da dose do produto químico a ser aplicado no início do ciclo de irrigação; o tanque tem que ser reabastecido com a solução a cada irrigação. Esse sistema não é recomendável para irrigação automática.

2.2. Injetor tipo Venturi

O injetor tipo Venturi é um equipamento de PVC, polietileno ou acrílico constituído de secção convergente gradual, seguida de uma secção estrangulada e de uma secção divergente gradual, para diâmetro igual ao da tubulação a que ele está conectado (Figura 4, 5 e 6). Seu princípio de funcionamento baseia-se na transformação de formas de energia, ou seja, parte da energia de pressão da água de irrigação é transformada em energia cinética quando passa pela secção estrangulada do equipamento. Vantagens: custo baixo, capacidade de injeção para pressões e vazões bem definidas, possibilidade de controle da taxa, usando-se apenas um

registro, podendo ser usado para outros tipos de produtos na quimigação. É de fácil manutenção, mas pode sofrer variação na taxa de injeção do produto. Entretanto, as perdas de carga podem alcançar de 20 a 30% da pressão de serviço. A concentração da solução fertilizante no injetor tipo Venturi é constante no decorrer do tempo de aplicação. Partindo-se do pressuposto que a vazão no ponto 1 é igual à vazão no ponto 2, de acordo com a equação da continuidade:

$$Q_1 = Q_2 = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (7)$$

Em que:

Q = vazão da linha de irrigação, em $m^3 s^{-1}$;

A = área da seção transversal da tubulação, em m^2 ;

V = velocidade do fluxo da água, em $m s^{-1}$.

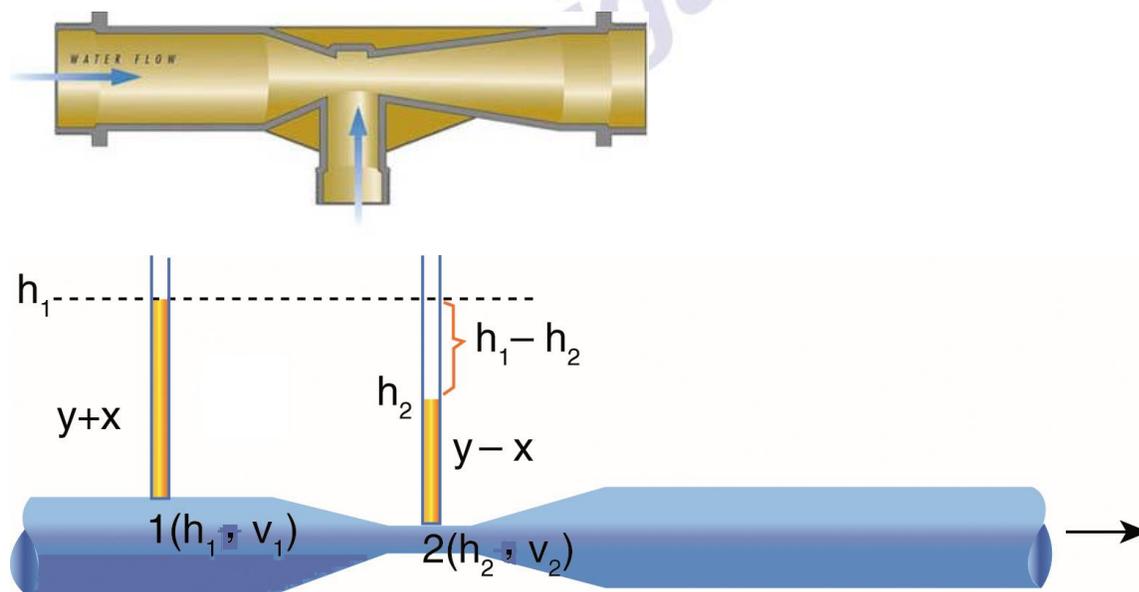


Figura 4 – Detalhe do sistema hidráulico de um Venturi (Desenho: José Cletis Bezerra).

A área A_1 (tubulação) é superior à área A_2 (Venturi). Para que a equação da continuidade seja observada é necessário que a velocidade do fluxo V_2 seja superior à velocidade do fluxo V_1 . É esta transformação de energia cinética que provoca o diferencial de pressão entre os pontos 1 e 2, provocando uma pressão negativa ou sucção no ponto 2, onde se encontra conectado o depósito com a solução fertilizante.

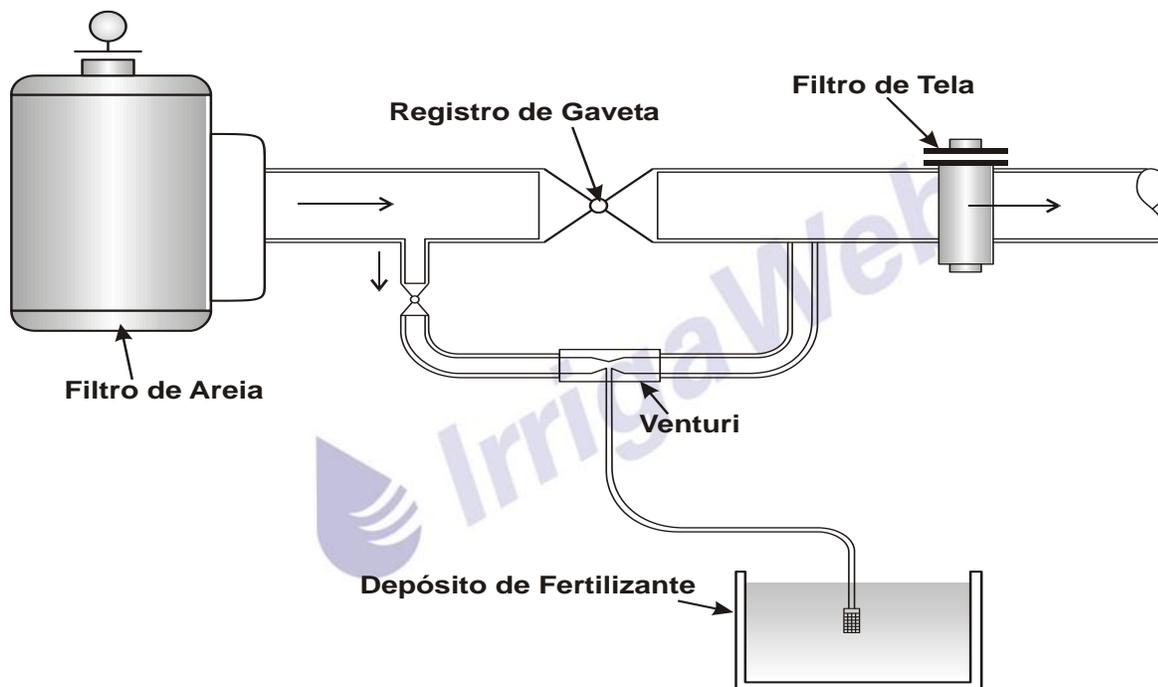


Figura 5 - Esquema de injetor tipo Venturi (Desenho: José Cletis Bezerra)

A característica destes injetores de fertilizantes é a simplicidade do dispositivo, bem como seu preço, manutenção e durabilidade, além de não necessitar uma fonte de energia especial. Como limitação, pode-se citar a grande perda de carga provocada pelo estrangulamento da tubulação, podendo variar de 10 a 50% da pressão de entrada (PASCUAL, 1996), dependendo do modelo. Entretanto, existem soluções alternativas para contornar essa limitação, como a instalação do injetor com uma bomba auxiliar.



Figura 6 - Detalhe de Venturi no cabeçal de controle (Foto: José Maria Pinto)

Instalação de injetor com bomba auxiliar

Em muitos casos, quando se quer evitar grandes perdas de carga, se instala um pequeno equipamento de bombeamento antes do Venturi, denominada bomba “buster”, que é uma bomba auxiliar é instalada para proporcionar o diferencial de pressão necessário para injeção do fertilizante através do Venturi (Figura 7), apresenta como desvantagem o custo mais elevado de instalação do sistema. O cálculo da pressão que deve fornecer o equipamento de bombeamento é feito por meio da equação:

$$H' = H * \frac{\Delta p}{1 - \Delta p} \quad (8)$$

Em que:

Δp = perda de carga do Venturi em relação à pressão da rede, em decimal;

H = pressão da rede;

H' = pressão a fornecer pelo equipamento de bombeamento.

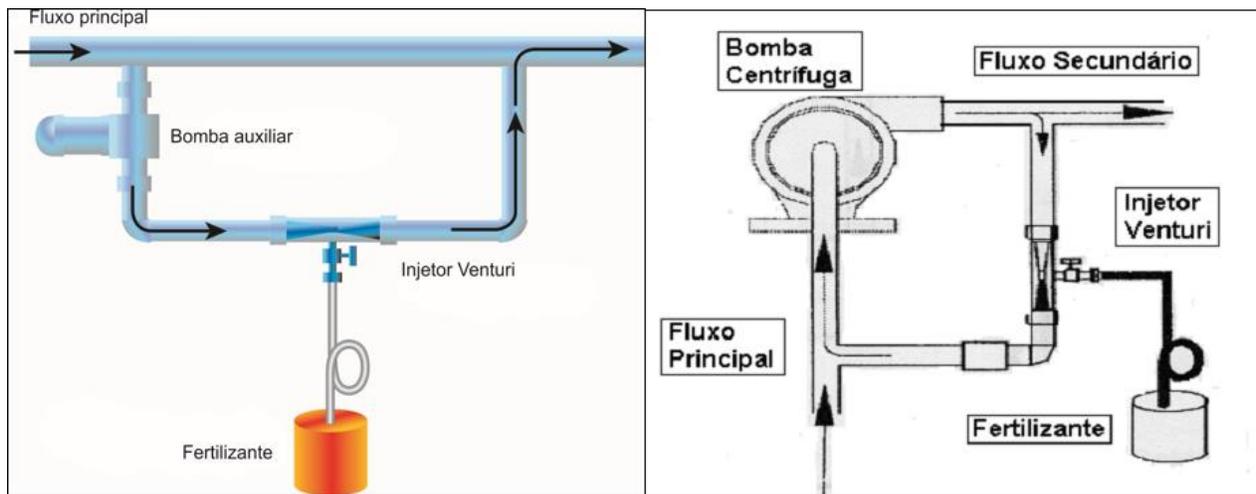


Figura 7 – Instalação de Venturi utilizando bomba auxiliar (Desenho: José Cletis Bezerra)

2.3. Bombas injetoras

As bombas injetoras são equipamentos que trabalham com pressão efetiva positiva e superior àquela do sistema de irrigação. São confeccionadas com material resistente à corrosão e são dos tipos centrífuga, diafragma e pistão. Apresentam a vantagem de injetar a solução na água de irrigação em taxa constante, o que nem sempre acontece com outros sistemas. Como desvantagem, seu alto custo, que às vezes inviabiliza sua aplicabilidade. O princípio de operação é o seguinte: injeção da solução existente em um tanque aberto, na rede de irrigação, a uma pressão superior à água na tubulação de irrigação, utilizando uma bomba apropriada. Esta bomba pode ser acionada por sistema elétrico, hidráulico ou por motor a combustão. Em geral injetam uma quantidade de fertilizantes calculada para que proporcione uma concentração de nutriente específica na água de irrigação (BRITO & PINTO, 2008).

2.3.1 Bombas injetoras com motor elétrico

As bombas injetoras com motores elétricos estão desenvolvidas para a injeção de fertilizantes. Consistem em bombas de deslocamento positivo, que podem ser de pistão ou de

diafragmas, acionadas por um motor elétrico de baixa potência (0,25 – 1 kw), fabricada com materiais não corrosivos (Figura 8). As vazões variam desde 20 Lh⁻¹ a até mais de 600 Lh⁻¹.

A vazão teórica injetada por uma bomba injetora elétrica de pistão é dada por:

$$Q = \pi * N * R^2 * C \quad (9)$$

Em que:

Q = vazão da bomba em L h⁻¹;

N = número de ciclos aspiração-impulsão, em 1 hora.

R = Raio do pistão, em cm.

C = Deslocamento horizontal, em cm.



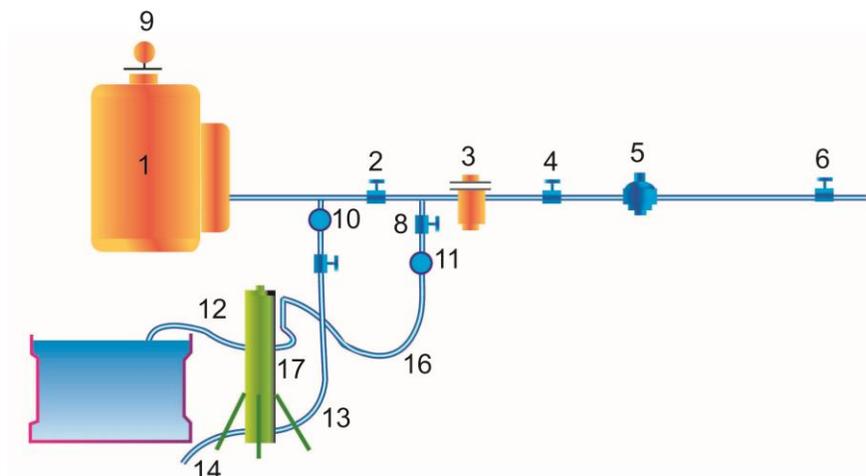
Figura 8 – Bomba injetora com motor elétrico (Foto: José Maria Pinto).

Para modificar a vazão se pode variar a velocidade do pistão ou o número N de ciclos por hora. O usual é o primeiro: as bombas injetoras têm um comando exterior para regular a vazão (parafuso micrométrico), que atua deslocando a excêntrica, modificando a velocidade do pistão, o qual regula a vazão. A regulagem pode ser feita com a bomba parada ou em funcionamento.

Nas bombas de membrana, o elemento alternativo é um diafragma flexível que oscila por um dispositivo mecânico como nas bombas de pistão, ou pelas pulsações de pressão iniciadas em uma câmara de fluidos. Este tipo se denomina de acionamento hidráulico.

2.3.2. Bombas injetoras com acionamento hidráulico

O injetor hidráulico é uma bomba constituída por uma pequena câmara que alternativamente se enche e esvazia acionada por um motor hidráulico de movimento alternado, que utiliza a pressão da própria rede de irrigação. O período de enchimento da câmara corresponde à sucção da solução de fertilizante de um depósito que, quando se esvazia, injeta-a na rede de irrigação. O dosificador é conectado à tubulação de irrigação entre dois pontos (Figuras 9, 10 e 11). Alguns modelos necessitam de uma pressão mínima de operação de 2 kPa, o que pode constituir um inconveniente, sobretudo em sistema de irrigação de baixa pressão. Podem trabalhar com pressão até 8 kPa. A água utilizada para acionar o dosificador é drenada e corresponde a um volume de aproximadamente o dobro da solução fertilizante injetada.



- | | |
|--|---|
| 1) Filtro de areia | 10 e 11) Hidrômetros |
| 2) Registro de fechamento lento (2 polegadas) | 12) Mangueira de sucção da solução fertilizante |
| 3) Filtro de areia | 13) Mangueira de entrada da bomba |
| 4) Registro de fechamento lento (1 polegada) | 14) Mangueira de ejeção da água da bomba para seu acionamento |
| 5) Válvula de controle de pressão (1/2 polegada) | 15) Reservatório de solução fertilizante |
| 6, 7 e 8) Registro de fechamento rápido | 16) Mangueira de injeção da solução fertilizante |
| 9) Monômetro de Bourbon | 17) Bomba injetora de fertilizante |

Figura 9 – Bomba injetora com acionamento hidráulico (Desenho: José Cletis Bezerra).



Figura 10 – Bomba injetora com acionamento hidráulico TMB (foto: José Maria Pinto).



Figura 11 - Injetora de fertilizantes 'AMIAD' (Foto: José Maria Pinto)

O volume injetado está definido pela expressão:

$$V = v * n * t \quad (10)$$

Em que:

V = volume injetado no tempo t, em L;

v = volume injetado em um movimento do êmbolo, em L;

n = número de movimento do êmbolo por unidade de tempo;

t = tempo de funcionamento.

Para controlar a dosificação se varia “n” ajustando a pressão de entrada na bomba mediante uma válvula. Para cada modelo, o fabricante deverá proporcionar um gráfico ou tabela que relacione a pressão de entrada com o número de movimento do êmbolo por unidade de tempo.

As vantagens desse sistema são: utilizam como fonte de energia para acionamento a própria pressão da água na rede de irrigação; a vazão pode ser regulada, normalmente entre 20

e 300 Lh^{-1} ; são portáteis e não provocam perda de carga na tubulação de irrigação. Tem como desvantagens a necessidade de uma pressão mínima de 2 kPa e são de alto custo.

2.3.3. Bomba injetora de ação hidráulica por pistão

Como a bomba injetora por acionamento hidráulico, 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, onde a água é fornecida com pressão muito superior à necessária, ou então, 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 considerando que, qualquer impureza pode afetar o bom funcionamento do injetor.

Na Figura 12 está apresentado um modelo comercial como também os métodos de instalação do equipamento. Este modelo tem a capacidade de injetar soluções fertilizantes uniformemente na faixa de 20 a 250 L h^{-1} em uma razão de diluição de 1:500 a 1:50 ou seja de 0,2 a 2%.



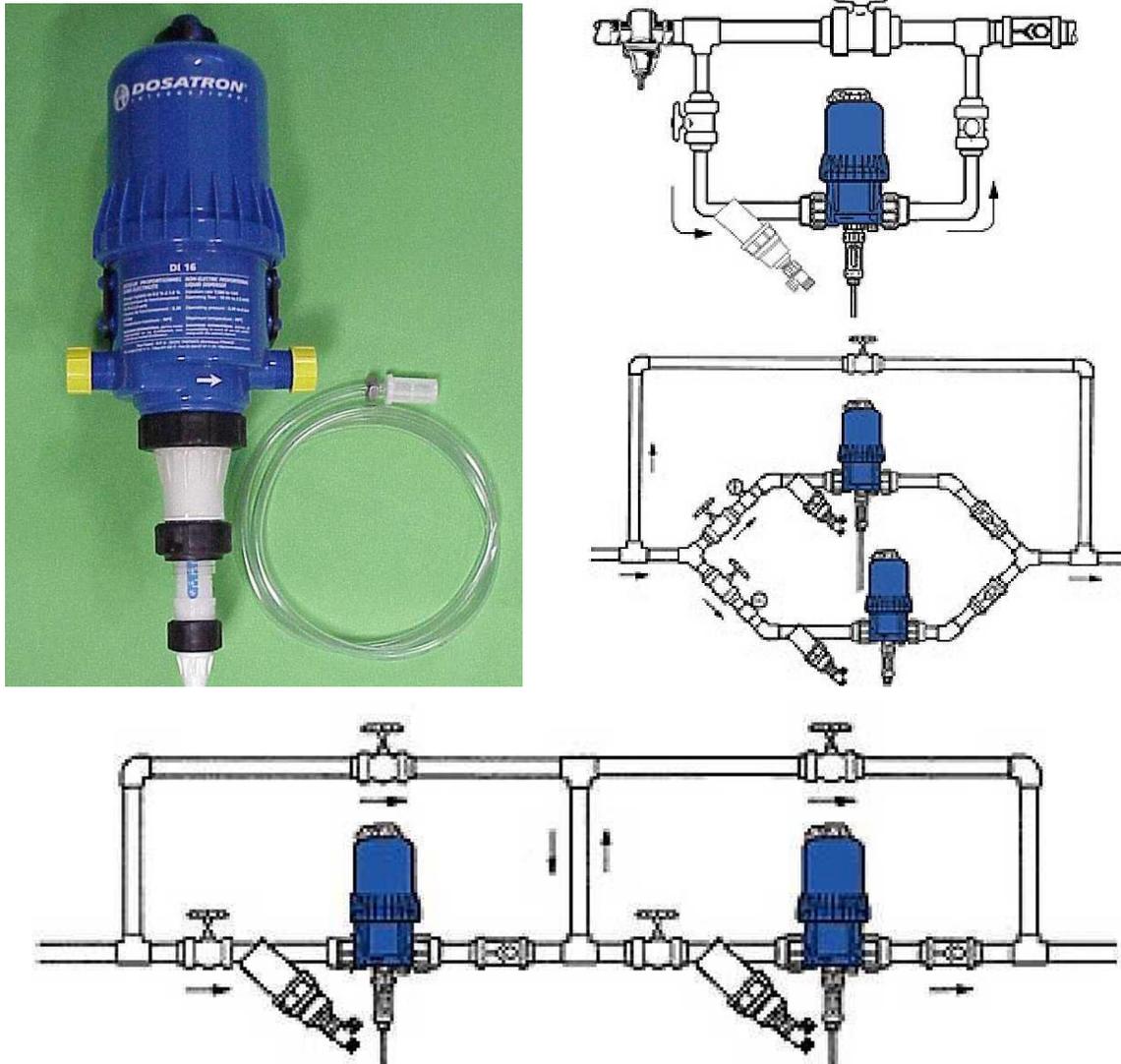


Figura 12 – Bomba injetora de ação hidráulica por pistão (Desenho: (Desenho: José Cletis Bezerra).

3. Critérios de escolha dos equipamentos de injeção de fertilizantes

Existem diferentes procedimentos de aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Em cada condição devem ser considerados fatores específicos inerente ao método de aplicação,

como disponibilidade de energia elétrica e pressão. Alguns critérios devem ser considerados para a escolha do equipamento injetor:

3.1. Fonte de energia disponível: Os dosificadores elétricos só se podem instalar quando se dispõe desta fonte de energia. Quando não se dispõe de eletricidade as alternativas são os tanques de derivação ou de fertilizantes, injetores Venturi e os dosificadores hidráulicos que aproveitam apenas a pressão hidráulica da rede de irrigação.

3.2. Volume e capacidade do sistema: A quantidade de solução que o reservatório de fertilizante pode conter e as vazões totais que se pode introduzir na rede de irrigação são funções da frequência de irrigação, necessidade total de fertilizante e forma de aplicação dos fertilizantes. Na Tabela 1 está a comparação dos diversos métodos de injeção de produtos químicos.

4. Segurança na aplicação de agroquímicos

Os equipamentos mínimos requeridos na quimificação são: sistema de irrigação (sucção, eletro ou motobomba, recalque e linhas laterais de irrigação), bomba injetora, depósito de agroquímicos, válvula de retenção manômetro.

A instalação e manutenção dos equipamentos para prevenir o refluxo dos químicos dentro da fonte de água ou do depósito de agroquímico são fundamentais para o sucesso desta tecnologia de aplicação de produtos químicos.

Tabela 1 - Comparação dos diversos métodos de injeção de produtos químicos

| Injetor | Vantagem | Desvantagem |
|--|--|---|
| Bomba centrífuga: | | |
| Pressão positiva "recalque" | Baixo custo. Pode ser calibrada, durante o funcionamento. | Calibração depende da pressão do sistema. Baixo controle da dose do nutriente injetado. |
| Dosadora "Piston" | Alta precisão e pressão de trabalho. | Alto custo |
| Pressão negativa "Sucção" | Baixo custo. Pode ser calibrada durante o funcionamento. | Injeção do produto depende da bomba do sistema. Possibilidade de corroê-la e poluir manancial. Baixo controle da qualidade do produto injetado. |
| Diferencial de pressão "Peças especiais": | | |
| Venturi | Médio custo. Fácil uso movido pela energia d'água do sistema calibração possível durante a operação. | Cria zona de baixa pressão no sistema. Calibração depende da concentração do produto no depósito. |
| Combinado/Composto "gravitacional, bomba principal e auxiliar" | Médio custo. Movido pela energia d'água do sistema (principal e auxiliar) e gravitacional. | Controle relativo da quantidade de produto injetado. Frágil. |

5. Sistema de prevenção do refluxo

A prevenção de retorno de fluxo é crítica em sistema de fertirrigação. Quando não se utiliza sistemas de prevenção, o fertilizante que permanece no sistema. No momento em que o sistema de irrigação é desligado o fertilizante será sifonado através da bomba, atingindo a fonte de água.

Os equipamentos de prevenção de refluxo são diversos, cujo sistema consiste em:

A - Válvula de retenção na linha principal de irrigação, ventosa – sifão e um dreno:

A válvula de retenção e a ventosa-sifão impedem o produto químico e/ou a solução de retornar à fonte d'água. As válvulas de retenção devem situar-se entre a bomba de irrigação e o ponto de injeção na linha principal de irrigação. A função do dreno de baixa pressão é remover qualquer solução de produto químico que tenha passado pela válvula de retenção.

B - Sistema bloqueador de injeção de químicos:

O sistema que interrompe a injeção de produtos químicos consiste de uma válvula de retenção, uma válvula solenoide – localizada na linha de sucção - suprimento de energia do sistema de irrigação e a bomba de injeção de químicos. A válvula de retenção na linha de injeção de químicos é necessária para prevenir o fluxo de água do sistema de irrigação para o interior do tanque.

C – Bomba Injetora:

A bomba injetora de produtos químicos deve ter precisão de 0,5 – 1%, fácil ajuste para diferentes doses – mesmo durante a operação - material não corrosivo e de mecânica robusta. O motor elétrico deve ser totalmente selado para minimizar a possibilidade de combustão, quando combustíveis ou vapor químico estejam presentes.

6. Calibração

A calibração é extremamente importante, envolvendo o sistema de irrigação e o sistema de aplicação de produtos químicos, pois a distribuição da água no sistema de irrigação deve ser uniforme para distribuir também uniformemente os produtos químicos. A calibração é um procedimento simples e análogo para os diversos métodos de irrigação. Além disso, é essencial para o bom desempenho da tecnologia de aplicação de produtos químicos.

7. Fertilizantes

Os fertilizantes para uso em irrigação podem ser agrupados em duas classes. (a) fertilizantes líquidos: abastecidos nos tanques na forma de solução, sem necessidade de tratamento prévio; (b) fertilizantes sólidos facilmente solúveis: devem dissolver-se facilmente antes do início da fertirrigação. Estes fertilizantes podem, ainda, ser apresentados na forma simples ou em combinações com dois ou mais elementos.

A escolha do fertilizante deve ser feita com base nas características de cada produto, visando atender às necessidades dos demais elementos envolvidos no processo, tais como: sistema de irrigação, textura do solo, qualidade da água, custo e exigências nutricionais da planta.

7.1. Fertilizantes Nitrogenados

O nitrogênio é o nutriente utilizado com maior frequência na fertirrigação. Existem vários fertilizantes contendo compostos nitrogenados que podem ser usados na fertirrigação. As formas mais comuns destes compostos são: nitratos, amônio, amida e aminoácidos (Tabela 2). Todas essas formas são passíveis de sofrer transformações e, ou, ser absorvidas pelas plantas em maior ou menor proporção. O nitrogênio apresenta alta mobilidade no solo, principalmente na forma de nitrato (NO_3^-) (HAYNES 1990).

Características de alguns compostos nitrogenados:

Amônio

O cátion amônio, aplicado em baixa concentração, irá adsorver-se aos coloides do solo, movendo-se pouco no perfil em relação ao ponto de aplicação. Dependendo da taxa de aplicação, a concentração dos íons amônio pode ser alta e, neste caso, eles podem saturar os sítios de troca no solo ao longo do perfil e com isso mover-se gradativamente em profundidade.

Normalmente, a maior parte do amônio no solo será transformada biologicamente em nitrato, em 2 a 3 semanas, numa temperatura do solo de 25 a 30° C. No entanto,

especificamente para aplicação localizada, essas transformações podem ser mais demoradas na zona logo abaixo do emissor devido à alta concentração de amônio e porque o processo de nitrificação necessita de O_2 , elemento que nessas regiões ocorre em menor concentração em função de ser o local mais saturado em água. Concentrações de amônio próximas a 400 - 800 mg N kg^{-1} são suficientes para inibir a nitrificação.

Ureia

A molécula de ureia antes de se hidrolisar no solo não apresenta carga, o que a torna inicialmente móvel. Após a hidrólise e a formação de NH_4^+ o movimento do N torna-se restrito. A conversão de ureia em amônio é dependente de uma série de fatores. Há resultados em que 50% da ureia foi convertida em NH_4^+ com 3 horas após a aplicação (60 kg de N ha^{-1}). Nesse caso toda a Ureia foi hidrolisada com 48 horas após a aplicação (FRENEY et al., 1985).

Nitrato

O nitrato move-se para a periferia da frente de molhamento. Embora as plantas absorvam prontamente o NO_3^- , o NH_4^+ e a ureia, respostas para NO_3^- são normalmente mais rápidas porque o nitrato é carregado pela água até a superfície da raiz via fluxo de massa.

Embora tenha custo elevado, o nitrato de cálcio apresenta-se como fonte alternativa de N nas fases de alta demanda das culturas por cálcio, naquelas situações em que os teores de Ca no solo são baixos e também existe demanda por N. Esta situação é bastante comum em solos arenosos e de baixa CTC, principalmente quando a calagem não foi suficiente para suprir a demanda por cálcio ou não foi realizada calagem nem gessagem. A vantagem desse fertilizante sobre as demais fontes de cálcio é sua solubilidade em água, possibilitando a aplicação via fertirrigação.

As fontes de nitrogênio estão sujeitas a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação. Na lixiviação, o nitrato é carregado através da água de irrigação ou de chuva para regiões mais profundas do solo, longe do acesso das raízes. Dependendo da intensidade da água, o nitrato poderá alcançar o lençol freático, vindo a contaminar os mananciais de água.

O nitrogênio aplicado via irrigação poderá ficar de forma residual dentro das tubulações. A presença de N nas mangueiras favorece o desenvolvimento microbiano, que poderá causar obstrução nos emissores. Para contornar o problema, basta lavar com a própria água de irrigação antes de finalizar a operação.

O balanço nitrato x amônio pode ter importância na absorção de outros íons. As plantas jovens (até 3 semanas) ainda não desenvolveram a nitrato redutase e por isso, preferencialmente, o amônio é a forma mais importante. Já no final do ciclo, a absorção de fonte amoniacal diminui a absorção de Ca, o que afeta a qualidade dos frutos.

Tabela 2. Composição dos fertilizantes mais usados para fertirrigação

| | Composição | | | | Fórmula | pH | Solubilidade a 20°C g/100 mL |
|--------------------------------------|------------|-------------------------------|------------------|---------|---|---------|------------------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Outros | | | |
| <u>Fertilizantes Nitrogenados</u> | | | | | | | |
| Nitrato de Amônio | 34 | 0 | 0 | | NH ₄ NO ₃ | 6,6 | 118 |
| Sulfato de Amônio | 21 | 0 | 0 | 24% S | (NH ₄) ₂ SO ₄ | 5,4 | 71 |
| Amônia Anidra | 82 | 0 | 0 | | NH ₃ | | 38 |
| Nitrato de Cálcio | 15,5 | 0 | 0 | 19% Ca | Ca(NO ₃) ₂ | 4,0-8,0 | 102 |
| Nitrato de Magnésio | 11 | 0 | 0 | 9,5% Mg | Mg(NO ₃) ₂ | 7,5 | 72 |
| Ureia | 46 | 0 | 0 | | CO(NH ₂) ₂ | 8,0-8,5 | 100 |
| <u>Fertilizantes Fosfatados</u> | | | | | | | |
| Fosfato Monoamônio (MAP) | 12 | 61 | 0 | | NH ₄ H ₂ PO ₄ | 4,7 | 37 |
| Fosfato Diamônio (DAP) | 16 | 46 | 0 | | (NH ₄) ₂ HPO ₄ | | 40 |
| Fosfato de Ureia | 17 | 44 | 0 | | CO(NH ₂) ₂ .H ₃ PO ₄ | 2,0 | 62 |
| Ácido Fosfórico | 0 | 53 | 0 | | H ₃ PO ₄ | 2,3 | 46 |
| <u>Fertilizantes Potássicos</u> | | | | | | | |
| Fosfato Monobásico de Potássio (MKP) | 0 | 52 | 34 | | KH ₂ PO ₄ | 4,5 | 22 |
| Cloreto de Potássio | 0 | 0 | 60 | 46% Cl | KCl | 6,7 | 32 |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|---|----|-------|---|-----|------|
| Nitrato de Potássio | 13 | 0 | 46 | | KNO ₃ | 8,0 | 34 |
| Sulfato de Potássio | 0 | 0 | 50 | 18% S | K ₂ SO ₄ | 3,4 | 11 |
| Micronutrientes | | | | | | | |
| Ácido Bórico | 17,5% B | | | | H ₃ BO ₃ | | 6 |
| Solubor | 20% B | | | | Na ₂ B ₈ O ₁₃ 4H ₂ O | | 22 |
| Sulfato de Cobre (acidificado) | 25% Cu | | | | CuSO ₄ 5H ₂ O | | 31 |
| Sulfato de Ferro (acidificado) | 20% Fe | | | | FeSO ₄ 7H ₂ O | | 16 |
| Sulfato de Manganês (acidificado) | 27% Mn | | | | MnSO ₄ 4H ₂ O | | 105 |
| Molibdato de Amônio | 54% Mo | | | | (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ 4H ₂ O | | 43 |
| Molibdato de Sódio | 39% Mo | | | | Na ₂ MoO ₄ | | 56 |
| Sulfato de Zinco | 36% Zn | | | | ZnSO ₄ 7H ₂ O | | 96 |
| Quelato de Zinco | 5-14% Zn | | | | DTPA & EDTA | | alta |
| Quelato de Manganês | 5-12% Mn | | | | DTPA & EDTA | | alta |
| Quelato de Ferro | 4-14% Fe | | | | DTPA, HOEDTA & EDDHA | | alta |
| Quelato de Cobre | 5-14% Cu | | | | DTPA & EDTA | | alta |
| Outros | | | | | | | |
| Sulfato de Magnésio | 9,7% Mg; 12,8% S | | | | MgSO ₄ 7H ₂ O | 6,5 | 20 |

Fonte: Adaptado de Burt et al. (1998).

7.2. Fertilizantes Potássicos

O potássio é absorvido pelas plantas na forma de K⁺. Participa de processos fisiológicos durante todo o ciclo de cultivo sendo que as quantidades removidas pelos frutos e imobilizadas na planta são elevadas. Os fertilizantes potássicos apresentam menor solubilidade que os nitrogenados, não existindo, contudo, limitações para sua aplicação via água de irrigação. Dentre as fontes de potássio para fertirrigação, destaca-se o cloreto, o sulfato e o nitrato de potássio (Tabela 2). O cloreto e o nitrato de potássio possuem alta solubilidade, enquanto o sulfato de potássio, além de ser menos solúvel, possibilita a formação de sulfato de cálcio, ainda menos

solúvel, quando a água de irrigação é rica em cálcio e magnésio (mais de 50 mg.L^{-1} de Ca^{2+} e Mg^{2+}). O cloreto é fonte a mais usada, por apresentar o menor custo por unidade de K_2O .

O movimento de potássio no solo depende do tipo de solo e na maioria dos casos se move com limitação. O potássio pode ser lixiviado em solos arenosos e com baixa CTC, porém, quando se aplicam doses normais de fertilizantes, perdas por lixiviação são extremamente baixas para a maioria das condições. O potássio pode movimentar-se no perfil do solo quando ocorrer concentração do elemento próximo ao emissor, com aplicações frequentes de potássio via água de irrigação.

Em fertirrigação, para culturas hortícolas, o potássio normalmente é aplicado, procurando-se evitar o acúmulo desse nutriente no solo.

Em relação à compatibilidade, a mistura de cloreto de potássio com outra fonte contendo sulfato poderá diminuir a solubilidade do K, pois poderá haver formação de K_2SO_4 que apresenta solubilidade 3 vezes menor que o KCl.

7.3 Fertilizantes Fosfatados

O fósforo, que é absorvido principalmente na forma de H_2PO_4^- , caracteriza-se por apresentar baixa mobilidade no solo, devido à sua alta capacidade de interação com os colóides do solo. Esse nutriente é adsorvido pelos colóides do solo, o que reduz temporariamente a sua disponibilidade para as plantas. Consequentemente, o seu movimento no solo é limitado. Isto ocorre com maior frequência em solos de textura argilosa, principalmente os mais intemperizados, que ocorrem em regiões tropicais. No entanto, várias fontes e métodos de aplicação de fósforo tentam evitar, pelo menos parcialmente, os problemas de distribuição desse elemento no solo. Além do custo, as fontes inorgânicas de P têm diferenças quanto ao conteúdo de P e também, quanto à solubilidade na água de irrigação.

A maioria dos adubos fosfatados apresenta baixa solubilidade e facilidade de precipitação, causando entupimento nos sistemas de irrigação. Assim, deve-se observar o pH e a presença de cálcio na água de irrigação, a textura do solo e a compatibilidade com outros nutrientes (SILVA e BORGES, 2009). Com o crescimento da utilização dos métodos de irrigação

localizada, a aplicação de fósforo ao solo passou a ser realizada via fertirrigação, na forma de ácido fosfórico e outras fontes solúveis (Tabela 2). O ácido fosfórico é um fertilizante apresentado na forma líquida, que possui de 46 a 76% de P_2O_5 , densidade $1,68 \text{ g.cm}^{-3}$, solubilidade 457 g.L^{-1} e pH 2,3. Apresenta como características marcantes alta solubilidade e elevada acidez.

Burt et al. (1998) recomenda que a aplicação de fontes de fósforo na água de irrigação seja realizada com fertilizantes ácidos, em sistemas de irrigação localizada. Assim, o uso do ácido fosfórico além de ser uma de fonte de fósforo, atua na limpeza dos resíduos químicos da tubulação, baixa o pH da água de irrigação e ajuda a manter os emissores livres de microrganismos. Deve-se destacar que a aplicação de ácido fosfórico via água de irrigação somente será efetiva quando o pH da água de irrigação permanecer em torno de 3,0 durante 30-60 minutos, para evitar a precipitação de fosfato de cálcio. Deve-se, contudo, tomar cuidados na aplicação deste e de outros ácidos, porque valores de pH menores que 5,5 podem aumentar a corrosão de equipamentos metálicos do sistema de irrigação e aumentar a toxicidade de alguns micronutrientes ou mesmo causar danos às raízes das plantas.

Outras fontes de fósforo empregadas na fertirrigação são o MAP (fosfato monoamônio) e o DAP (fosfato diamônio), além de MKP ou PeaK (fosfato monopotássico) e fosfato de Ureia, que apresentam custo mais elevado.

Na fertirrigação com MAP, DAP ou ácido fosfórico é importante conhecer a concentração de cálcio e magnésio e também de bicarbonatos da água de irrigação, para evitar problemas de precipitação e entupimento. Se a água é ácida não há limitação para o uso do DAP, porém, caso haja Ca e o pH for superior a 7 deve-se utilizar o MAP, que tem efeito acidificante, o que leva a um abaixamento do pH. Outra possibilidade é o uso do ácido fosfórico concentrado. A quantidade aplicada deve ser suficiente para abaixar o pH, porém, há um limite para que não produza corrosão em peças metálicas da rede. Recomenda-se que a soma das concentrações de cálcio e de magnésio não ultrapasse 50 mg L^{-1} e a concentração de bicarbonatos seja inferior a 150 mg L^{-1} .

No geral, a aplicação de fósforo através da irrigação por gotejamento requer cuidados e conhecimentos técnicos. Os sistemas de irrigação localizada são os mais adequados a aplicação de fósforo, devido a melhor localização do nutriente em relação ao sistema radicular.

Movimentação de fósforo no solo

Embora o movimento de P dependa de muitos fatores químicos e físicos do solo, a textura, a taxa de aplicação e a quantidade de água aplicada são as variáveis que mais afetam o seu movimento.

A irrigação por gotejamento pode aumentar o movimento de P no solo de 5 a 10 vezes se comparado à aplicação convencional. O movimento é maior desta forma porque uma maior concentração, em uma faixa estreita do solo, satura os sítios de fixação próximos ao ponto de aplicação. O movimento de P no solo aumenta com a taxa de aplicação e também com o raio de molhamento (HERGET & REUSS, 1976).

7.4 Fertilizantes contendo cálcio, magnésio e enxofre

A aplicação de cálcio via água de irrigação mostra-se vantajosa para culturas que apresentam demanda elevada por este nutriente, comparável ao nitrogênio e ao potássio. A calagem, que é normalmente realizada nos solos ácidos, é uma das principais fontes de cálcio para as culturas. Em culturas que apresentam alta demanda por cálcio, outras aplicações podem ser necessárias, além da calagem. Como fontes alternativas de cálcio tem-se o gesso, aplicado no solo, nitrato de cálcio, cloreto de cálcio e as formas quelatizadas de cálcio que pode ser aplicados via água de irrigação.

O nitrato de cálcio é a fonte de Ca mais solúvel. Recomenda-se adicionar ácido nítrico concentrado na base de 0,3 litros por quilo de nitrato de cálcio quando o pH da água de irrigação for superior a 6,5.

Dos produtos que apresentam magnésio normalmente se utiliza o sulfato como fonte de magnésio, dada a sua boa solubilidade. As formas quelatizadas de Mg, apesar de ter um custo mais elevado, são boas alternativas. Como regra geral, tanto o cálcio como o magnésio devem

ser aplicados antes do plantio, através da calagem, e apenas complementados através da fertirrigação.

Como fonte de enxofre para fertirrigação pode-se utilizar sulfato de amônio, sulfato de magnésio, e sulfato de potássio. Porém, deve-se tomar cuidado com a incompatibilidade do sulfato com o cálcio.

7.5 Fertilizantes contendo micronutrientes

Os quelatos e os sulfatos contendo micronutrientes são os compostos geralmente utilizados para corrigir deficiências dos cátions micronutrientes. Os boratos solúveis são as principais fontes de boro. Em função da facilidade de lixiviação que esse nutriente apresenta, o seu parcelamento é a prática mais recomendada. Na Tabela 2 são apresentadas algumas características destes fertilizantes.

Micronutrientes como Zn, Fe, Cu e Mn podem reagir com sais da água de irrigação e causar precipitação e entupimento dos emissores. Por isso, em muitos casos, esses micronutrientes são aplicados como quelatos, que são facilmente solúveis e causam poucos problemas de precipitação e entupimento. No solo, os micronutrientes quelatizados reagem menos e por isso apresentam maior mobilidade do que os sais. Como estes produtos apresentam custo elevado, a utilização dos quelatos em fertirrigação requer maior atenção com relação ao manejo da fertirrigação, que vai desde a qualidade da água (pH, C.E.) e da lâmina aplicada, até a compatibilidade com outros produtos.

7.6 Solubilidade dos Fertilizantes

Para se alcançar êxito na fertirrigação devem-se utilizar fontes de alta solubilidade para que, a concentração de nutrientes na solução aplicada seja, de fato, aquela calculada. Outro aspecto importante da solubilidade é que alguns fertilizantes que não apresentam dissolução completa podem causar entupimento nos emissores, principalmente dos gotejadores. No

preparo da solução deve-se observar a solubilidade de cada fertilizante a fim de que todo fertilizante dissolvido permaneça na solução.

Na Tabela 3 são apresentadas as solubilidades de vários fertilizantes a temperatura de 20°C. A própria mistura de fertilizantes pode promover o abaixamento da temperatura da água, em função das reações de dissolução absorver calor. É o que ocorre quando fertilizantes nitrogenados são solubilizados.

O nitrato de amônio (34% N) aplicado numa concentração de 10g L⁻¹ promove abaixamento de 2°C na temperatura da solução, porém numa concentração de 100g L⁻¹ a temperatura diminui 7,2°C. Assim como a temperatura, a pureza do fertilizante pode interferir na sua solubilidade. Como a solubilidade normalmente é determinada a partir de produtos puros deve-se considerar que os valores tabelados são máximos e podem ser aplicados apenas a fertilizantes com alto grau de pureza. Para fertilizantes comerciais o limite de solubilidade normalmente é mais baixo.

Deve-se, também, estar atento a fertilizantes que apresentem: a) condicionadores, usados para prevenir a quebra dos grânulos; b) substâncias como óleo ou parafina, que revestem os fertilizantes que têm problemas de higroscopicidade; c) argilas presentes nos adubos fluidos para manter o potássio em suspensão; d) outras impurezas, como óxido de ferro, presentes no cloreto de potássio vermelho, entre outros. Fertilizantes com estas características devem ser evitados em fertirrigação.

Em termos de características físicas dos fertilizantes sólidos para uso em fertirrigação deve-se dar preferência àqueles que se apresentam na forma de cristais, que em função do tamanho de grânulo reduzido, solubilizam-se mais facilmente em relação aos granulados.

Tabela 3. Solubilidade a 20°C de alguns fertilizantes⁽¹⁾

| FERTILIZANTE | SOLUBILIDADE⁽²⁾ |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| NITROGENADOS (N) | |
| Nitrato de Amônio | 118 |
| Nitrato de Cálcio | 102 |
| Sulfato de Amônio | 71 |
| Ureia | 78 |
| Nitrato de Sódio | 73 |
| Soluções Nitrogenadas | ALTA |
| Uran | ALTA |
| FOSFATADOS (P) | |
| Superfosfato Simples | 2 |
| Superfosfato Triplo | 4 |
| Ácido fosfórico | 45,7 |
| POTÁSSICOS (K) | |
| Cloreto de Potássio | 34 |
| Sulfato de Potássio | 11 |
| N e P | |
| MAP | 23 |
| MAP Purificado | 37 |
| DAP | 40 |
| N e K | |
| Nitrato de Potássio | 32 |
| CONTENDO Ca e Mg | |
| Cloreto de Cálcio pentahidratado | 67 |
| Sulfato de Magnésio | 71 |
| Gesso | 0,241 |
| CONTENDO MICRONUTRIENTES | |
| Bórax | 5 |
| Molibdato de amônio | 40 |
| Molibdato de sódio | 56 |
| Sulfato de Cobre | 22 |
| Sulfato de Cobre Pentahidratado | 24 |
| Sulfato de Ferro | 24 |
| Sulfato Ferroso | 33 |
| Sulfato de Manganês | 105 |
| Sulfato Manganoso | 742 |
| Sulfato de Zinco | 75 |
| Quelatos (Fe, Cu, Mn e Zn) EDTA, DTPA | ALTA |

(1) Fonte: Vitti et al., (1994).

(2) Partes solubilizadas em 100 partes de água a 20°C.

7.7 Compatibilidade dos Fertilizantes

A compatibilidade entre os adubos e destes com os íons presentes na água de irrigação é outro fator de suma importância. No preparo das soluções muitas vezes é necessário misturar mais de uma fonte. Nesse caso, deve-se recorrer aos quadros de compatibilidade como o da Figura 1, a fim de certificar se a mistura pode ou não ser realizada.

Como regra geral, o íon sulfato é incompatível com cálcio, e os fosfatos, com cálcio e magnésio. Do mesmo modo, águas ricas em cálcio e magnésio podem formar compostos insolúveis com fósforo e sulfato. A aplicação de fertilizantes incompatíveis (por exemplo, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4) devem ser feitas a partir de tanques independentes ou aplicados em momentos diferentes, de modo que não haja contato entre as soluções concentradas desses fertilizantes. Sempre que forem feitas misturas de fertilizantes diferentes dos utilizados convencionalmente, deve-se fazer o “teste da jarra”, que consiste em se misturar os fertilizantes em uma jarra na mesma proporção que será utilizada no reservatório, esperando por duas horas após a mistura. Se não ocorrer a formação de precipitado a mistura poderá ser feita sem problemas.

7.8 Efeito do Fertilizante no pH da Solução e no pH do Solo

Os fertilizantes após serem dissolvidos poderão alterar o pH da solução nos tanques. Esse efeito ocorre em função da reação do íon com a água ou ainda devido a presença de ácidos do processo de fabricação de fertilizantes.

Poderão ocorrer mudanças nas propriedades física e química do solo dependendo dos produtos utilizados, principalmente com a mudança no pH do solo. As mudanças no pH do solo ocorrem normalmente com redução (acidificação), devido ao aumento de íons de hidrogênio (H^+), pela oxidação feita por bactérias no NH_4^+ das fontes nitrogenadas, seguindo a reação:



| | Ureia | Nitrato de Amônio | Sulfato de Amônio | Nitrato de Cálcio | Nitrato de Potássio | Cloreto de Potássio | Sulfato de Potássio | Fosfato de Amônio (MAP, DAP) | Sulfato de Fe, Zn, Cu e Mn | Quelato de Fe, Zn, Cu e Mn | Sulfato de Magnésio | Ácido Fosfórico | Ácido Sulfúrico | Ácido Nítrico |
|------------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Ureia | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | I | C |
| Nitrato de Amônio | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
| Sulfato de Amônio | C | C | I | C | C | R | C | C | C | C | C | C | C | C |
| Nitrato de Cálcio | C | C | I | C | C | I | I | I | R | I | C | I | C | C |
| Nitrato de Potássio | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
| Cloreto de Potássio | C | C | C | C | C | R | C | C | C | C | C | C | C | C |
| Sulfato de Potássio | C | C | R | I | C | R | C | R | C | R | C | R | C | C |
| Fosfato de Amônio (MAP, DAP) | C | C | C | I | C | C | C | I | R | I | C | C | C | C |
| Sulfato de Fe, Zn, Cu e Mn | C | C | C | I | C | C | R | I | C | C | R | C | I | C |
| Quelato de Fe, Zn, Cu e Mn | C | C | C | R | C | C | R | C | C | C | I | C | C | C |
| Sulfato de Magnésio | C | C | C | I | C | C | R | I | C | C | C | C | C | C |
| Ácido Fosfórico | C | C | C | C | C | C | C | R | I | C | C | C | C | C |
| Ácido Sulfúrico | I | C | C | I | C | C | R | C | C | C | C | C | C | C |
| Ácido Nítrico | C | C | C | C | C | C | C | C | I | C | C | C | C | C |

¹C = Compatível; R = Solubilidade reduzida; I = Incompatível.

Figura 13 - Solubilidade de misturas de fertilizantes líquidos (algumas formulações são incompatíveis em concentrações na solução estoque, devendo ser evitadas). **Fonte: Landis et al. (1989)**

Na irrigação por gotejamento, os problemas de redução no pH ocorrem normalmente em pontos localizados no perfil do solo, logo abaixo dos emissores e ao lado das linhas laterais, o que dificulta os trabalhos corretivos, a não ser com emprego de ácidos ou bases também pelo sistema de irrigação para elevar ou reduzir o nível de acidez, respectivamente.

Outro fator que afeta o pH do solo na interface solo-raiz é a razão $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ da solução fertirrigada. Quando o NH_4^+ predomina, H^+ é excretado da raiz e acidifica a solução do solo. Quando NO_3^- é o íon mais absorvido, o OH^- ou HCO_3^- são liberados para a solução do solo e o pH

do solo aumenta. Portanto, as diferentes relações $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ apresentam efeitos diferentes sobre o desenvolvimento das raízes.

7.9 Salinidade e Potencial Salino dos Fertilizantes

A salinidade do solo se refere ao conteúdo de sais solúveis na solução do solo. Os sais mais comuns são os cloretos, sulfatos, bicarbonatos, nitratos e boratos de sódio, magnésio e cálcio.

A intemperização das rochas através do tempo e a aplicação de fertilizantes e água dão origem aos sais solúveis no solo. Em regiões chuvosas, a maioria dos sais são lixiviados, enquanto que em regiões áridas os níveis de sais são elevados.

A água de irrigação pode ser uma fonte de sais que, se manejada de forma inadequada, poderá produzir efeito salino no solo. Portanto, é recomendável que antes de se iniciar um projeto de irrigação a água a ser utilizada seja analisada.

O potencial salino é tanto maior quanto mais seco estiver o solo e, uma das formas de minimizar o problema é manter o solo úmido o maior tempo possível. Por isso, em casos em que a salinidade pode ser considerada problema, deve-se adotar irrigação com menores volumes de água por aplicação, no entanto, com irrigações mais frequentes.

A condutividade elétrica é o método mais simples de quantificar o total de sal na amostra e define a carga elétrica das partículas de sal existentes na água. Uma corrente elétrica é aplicada entre dois eletrodos que são inseridos na amostra de água e diretamente determina-se a condutividade elétrica, que aumenta à medida que aumentam os sais dissolvidos. Embora os condutímetro sirvam para medir a condutividade elétrica da amostra de água, não há como qualificar os sais existentes dissolvidos na água de irrigação. A unidade que expressa a condutividade elétrica, atualmente, é Siemen (S) por metro, normalmente expressa em múltiplos como, decisiemen por metro (dS m^{-1}).

8 Exemplos de Cálculo na fertirrigação

Os cálculos das quantidades e dosagens dos produtos a serem aplicados constituem na maioria dos problemas e eficácia com a prática da fertirrigação.

Muitas propriedades que imaginam estarem fazendo a fertirrigação às vezes estão colocando produtos de mais ou de menos no solo ou na água, o que pode contribuir para a contaminação ambiental, para a toxicidade das culturas ou para as perdas dos produtos.

Os cálculos recomendados para a fertirrigação são semelhantes aos utilizados na adubação tradicional pois, tanto numa forma de adubação como na outra, as quantidades a serem aplicadas dos produtos devem ser calculadas a partir dos resultados estabelecidos pela análise do solo. Conhecendo-se a fórmula comercial com os teores de cada elemento juntamente com a recomendação da análise do solo para a cultura, o passo seguinte será determinar a quantidade dos produtos que deve ser misturada.

8.1 Exemplo 1

Os valores recomendados foram: 400 kg ha⁻¹ de N; 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 250 kg ha⁻¹ de K₂O. Dispõe-se dos seguintes produtos:

-Fosfato diamônio: 21- 53 - 0;

-Nitrato de Potássio: 13-0-46;

-Ureia: 46-0 -0.

a) Considerando o cálculo da dosagem do fósforo, primeiro deve escolher os fertilizantes que fornece mais de um nutriente. O fosfato diamônio, possui o nitrogênio (21%) o fósforo (56%). Calculando, tem-se:

| | |
|---|---------|
| Fosfato diamônio: 100 kg fosfato diamônio | 53 kg P |
| X | 274 |

$$X = 100 \times 274 / 0,53 = 264 \text{ kg.}$$

Calculando a quantidade de N em 264k g de fosfato diamônio, tem-se:

| | |
|-------------------------|--------|
| 100 kg fosfato diamônio | 21kg N |
| 264 | X |

$$X = 264 \times 21 / 100$$

$$X = 55 \text{ kg de N}$$

b) Dando continuidade, para o potássio, tem-se nitrato de potássio (46% de K_2O e 13% de N):

Nitrato de Potássio:

| | |
|----------------------------|-----------|
| 100 kg nitrato de potássio | 46 K_2O |
| X | 250 |

$$X = 544 \text{ kg nitrato de potássio.}$$

Calculando a quantidade de N em 544 kg de Nitrato de Potássio, tem-se:

| | |
|----------------------------|---------|
| 100 kg nitrato de potássio | 13 kg N |
| 544 | X |

$$X = 71 \text{ kg de N.}$$

c) Calculando-se a quantidade de N deduzindo-se os valores já aplicado pelo fosfato diamônio e nitrato de potássio tem-se:

$$400 \text{ kg} - 55 \text{ kg} - 71 \text{ kg} = 274 \text{ kg.}$$

Para o cálculo da quantidade de ureia a ser aplicada, tem-se:

| | |
|--------------|---------|
| 100 kg ureia | 46 kg N |
| X | 274 |

$$X = (100 \times 274) / 0,46$$

$$X = 496 \text{ kg ureia.}$$

Devemos aplicar: 264k g de fosfato diamônio; 544 kg de Nitrato de Potássio e 496 kg ureia.

8.2 Exemplo 2

A vazão de um sistema de irrigação por gotejamento é de $45,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ com uma concentração natural de N na água igual a 12 ppm (parte por milhão; $\text{ppm} = \text{mg L}^{-1}$ ou mg dm^{-3} ou mg kg). Deseja-se que a concentração de N, na forma de ureia, na água de irrigação que seja igual a 80 ppm. Pede-se calcular a quantidade de ureia a ser colocada em um tanque de 500 L com o injetor tipo Venturi com vazão média de sucção de 400 L h^{-1} .

Dados:

$$q_1 - \text{vazão do sistema de irrigação: } 45,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 45500 \text{ L h}^{-1};$$

$$C_1 - \text{concentração natural de N na água de irrigação: } 12 \text{ ppm}$$

ppm significa partes por milhão. 1ppm é igual a mg kg^{-1} . Considerando a densidade da água igual a 1, conseqüentemente 1 L de água é igual a 1 kg. Portanto 12 ppm pode ser escrito como 0,000012 kg de N por kg de água.

$$q_2 - \text{vazão do injetor: } 400 \text{ L h}^{-1};$$

$$C_2 - \text{concentração a ser colocada no tanque: ?}$$

$$C_3 - \text{concentração desejada na água de irrigação: } 80 \text{ ppm (0,00008 kg de N por kg de água);}$$

$$q_3 - \text{vazão do sistema de irrigação mais vazão do injetor: } 45500 + 400 = 45900 \text{ L h}^{-1}.$$

Solução:

a) Cálculo da concentração no tanque de mistura:

Pela equação da conservação da massa, tem-se:

$$q_1 C_1 + q_2 C_2 = q_3 C_3 \therefore$$

$$C_2 = \frac{(q_3 \cdot C_3) - (q_1 \cdot C_1)}{q_2} = \frac{(45900 \times 0,000080) - (45500 \times 0,000012)}{400} = 0,007815 \text{ kg.}$$

b) Cálculo da quantidade de N a ser colocada no tanque:

$$Q_N = V_t \cdot C_t = 500 \times 0,007815 = 3,9075 \text{ kg de N}$$

A água já possui 12 ppm de N que corresponde a 0,006 kg, deve-se acrescentar no tanque apenas 3,9015 kg de N. A quantidade de Ureia contendo 46% de N será:

$$\text{Ureia} = \frac{3,9015 \times 100}{46} = 8,481 \text{ kg} \cong 8,5 \text{ kg de Ureia}$$

8.3 Exemplo com cultura anual (Cultura do melão)

Para cultivo em solo, nem todos os nutrientes devem ser aplicados via fertirrigação. Para gotejamento, recomenda-se que 10-20% do nitrogênio e potássio, 40-60% do cálcio e 50-100% do fósforo e demais macro e micro nutrientes devem ser aplicados como adubação de fundação, sendo os nutrientes aplicados via irrigação ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Quantidade relativa de nitrogênio, potássio, cálcio e fósforo a ser aplicada via fertirrigação, ao longo do ciclo de desenvolvimento do meloeiro irrigado por gotejamento para cultivares de ciclo inferior a 70 dias.

Outra opção é a distribuição dos fertilizantes ao longo do ciclo da cultura proporcionalmente ao desenvolvimento das plantas, ou seja, de acordo com o crescimento, aumenta-se a dose de fertilizante aplicado (Tabela 5).

Tabela 4. Frequência, doses, fontes e período de aplicação de nutrientes na cultura do melão.

| Fontes de Fertilizantes | |
|---|---|
| Nitrogênio | |
| Opção 01 | Ureia |
| Período de Aplicação | 3 a 42 dias após a germinação |
| Frequência | Diariamente |
| Dose | 80 kg/ha de N |
| Opção 02 | Ureia/Sulfato de amônio/nitrato de potássio |
| Período de Aplicação | Ureia: 3 a 15 dias após a germinação. Sulfato de Amônio: 16 a 30 dias após a germinação. Nitrato de potássio: 31 a 42 dias após a germinação. |
| Potássio (K₂O) | |
| Período de Aplicação | Até 55 dias após a germinação |
| Frequência | Diariamente |
| Dose | 90 kg/ha |
| Fósforo P₂O₅ | |
| Período de aplicação | Em fundação, antes do plantio |
| Dose | 120 kg/ha |
| Produtividade esperada (Latosolo) | 30 kg/ha |
| Produtividade esperada (Vertissolo) | 40 t/ha |

Tabela 5. Distribuição de fertilizantes em doses proporcionais desenvolvimento da cultura

| Nutriente | Ciclo (dias) | | | | | | | | |
|---|----------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 ¹ | 1-7 | 8-14 | 15-21 | 22-28 | 29-35 | 36-42 | 43-49 | 50-56 |
| Quantidade relativa de nutriente (%) ² | | | | | | | | | |
| Irrigação por gotejamento | | | | | | | | | |
| Solos de textura fina e média | | | | | | | | | |
| N | 20 | 2 | 3 | 5 | 10 | 20 | 20 | 15 | 5 |
| K | 20 | 2 | 3 | 5 | 10 | 20 | 20 | 15 | 5 |
| Ca | 60 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| P | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Solos de textura grossa | | | | | | | | | |
| N | 10 | 3 | 5 | 5 | 15 | 21 | 21 | 15 | 5 |
| K | 10 | 3 | 5 | 5 | 15 | 21 | 21 | 15 | 5 |
| Ca | 40 | 0 | 0 | 10 | 10 | 15 | 15 | 10 | 0 |
| P | 60 | 0 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 |

Fonte: Sousa et al. 2011

EXEMPLO DE ADUBAÇÃO POR FERTIRRIGAÇÃO

Cultura: melão

Área: 1,8 ha - dividida em 4 setores de igual tamanho

Sistema de irrigação: gotejamento

Injeção de fertilizantes: na entrada de cada setor

Tabela 6: Resultado da análise de solo

| Pro | Ca ² | Mg ² | Na ⁺ | K ⁺ | S _b | Al ³⁺ | H ⁺ | T | V |
|--------|-----------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|-----|-----|
| cm | ----- cmol dm ⁻³ ----- | | | | | | | | % |
| 0 - | 14, | 3,5 | 0,1 | 0,3 | 18, | 0,0 | 0,0 | 18, | 100 |
| Prof. | pH | CEe | P | M.O. | | | | | |
| cm | H ₂ O | dS m ⁻¹ | mg dm ⁻¹ | g kg ⁻¹ | | | | | |
| 0 - 30 | 8,2 | 1,19 | 26,9 | 9,6 | | | | | |

FERTILIZANTES DISPONÍVEIS

Ureia - 45% de N

MAP - 10% de N, 48% de P₂O₅

Cloreto de Potássio - 60% de K₂O

Tabela 7. Quantidades de fertilizantes para o cultivo do melão

| Doses recomendadas | | Quantidades de adubo | | Quantidade de adubo | |
|-------------------------------|----|----------------------|-------|----------------------|------|
| Kg/ha | | Por 1,8 há (em kg) | | Por setor (Kg/setor) | |
| N | 90 | MAP | 150 | MAP | 37.5 |
| P ₂ O ₅ | 40 | Ureia | 326.7 | Ureia | 81,7 |
| K ₂ O | 40 | Cloreto de potássio | 120 | Cloreto de Potássio | 30.0 |

MANEJO DA ADUBAÇÃO

- Fertirrigação ⇒ 3 vezes por semana
- MAP: 3 a 21 dias após a germinação
- Ureia: 3 a 21 dias após a germinação
28 a 42 dias após a germinação
- Cloreto de potássio: 3 a 21 dias após a germinação
28 a 55 dias após a germinação

Tabela 8. Distribuição dos fertilizantes por fertirrigação

| Período | Aplicações | Fertilizantes (kg/setor) | | |
|-----------|------------|--------------------------|-------|-----|
| | | MAP | Ureia | KCl |
| 1ª semana | 1ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| | 2ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| | 3ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| 2ª semana | 1ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| | 2ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| | 3ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| 3ª semana | 1ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| | 2ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| | 3ª | 4,2 | 4,5 | 1,0 |
| 4ª semana | 1ª | - | - | - |
| | 2ª | - | - | - |
| | 3ª | - | - | - |
| 5ª semana | 1ª | | 6,9 | 1,8 |
| | 2ª | | 6,9 | 1,8 |
| | 3ª | | 6,9 | 1,8 |
| 6ª semana | 1ª | | 6,9 | 1,8 |
| | 2ª | | 6,9 | 1,8 |
| | 3ª | | 6,9 | 1,8 |
| 7ª semana | 1ª | | | 1,8 |
| | 2ª | | | 1,8 |
| | 3ª | | | 1,8 |
| 8ª semana | 1ª | | | 1,8 |
| | 2ª | | | 1,8 |
| | 3ª | | | 1,8 |

| | | | | |
|------------|----|--|--|--|
| 9ª semana | 1ª | | | |
| | 2ª | | | |
| | 3ª | | | |
| 10ª semana | 1ª | | | |
| | 2ª | | | |
| | 3ª | | | |

Para forçar o crescimento das raízes, recomenda-se deixar a quarta semana sem realização de fertirrigação.

Fertirrigação da videira na fase de produção

Existem várias formas de estimar as necessidades nutricionais da videira na fase de produção. Entre as principais, algumas se baseiam na disponibilidade de nutrientes em todo o volume de solo explorado pelas raízes, denominado 'bulk soil', outros na produtividade esperada e ainda há aqueles que consideram a extração de nutrientes pelos frutos. Os dois primeiros têm em comum a necessidade de informações sobre a disponibilidade de nutrientes no solo, obtida por meio de análises de solo e, ou, do estado nutricional da planta, obtido por meio de análises de tecido vegetal. No último método são necessários dados de produtividade e de análise química dos frutos.

Por questão de praticidade na obtenção das informações, o método sugerido é aquele que considera a produtividade esperada e os resultados de análise de solo e de tecido vegetal.

8.4.1. Manejo de nutrientes na fase de produção: Uvas de mesa com sementes

Tabela 9. Quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio indicadas para a adubação de produção para uvas com e sem sementes, em função da produtividade estimada e da disponibilidade de nutrientes no solo

| Produtividade esperada | N ¹ | P no solo, mg.dm ⁻³ | | | | | K no solo, cmol _c .dm ⁻³ | | | |
|------------------------|---------------------|--|--------|---------|-------|-----|---|-----------|-----------|-------|
| | | Solo arenoso | | | | | Kx100/CTC | | | |
| | | <11 | 11-20 | 21-40 | 41-80 | >80 | <0,16 | 0,16-0,30 | 0,31-0,45 | >0,45 |
| | | Solo argiloso | | | | | | | | |
| | | <6 | 6 a 10 | 11 a 20 | 21-40 | >40 | <5 | 5-10 | 11-15 | >15 |
| t ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | ----- kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ----- | | | | | ----- kg.ha ⁻¹ de K ₂ O ----- | | | |
| < 15 | 60-150 | 120 | 80 | 40 | 20 | 0 | 100 | 75 | 50 | 0 |
| 15 - 25 | 60-150 | 160 | 120 | 80 | 40 | 0 | 200 | 150 | 75 | 50 |
| 26 - 35 | 60-150 | 200 | 160 | 120 | 60 | 0 | 300 | 225 | 100 | 75 |
| > 35 | 60-150 | 240 | 200 | 160 | 80 | 0 | 400 | 300 | 150 | 100 |

¹ Doses indicadas apenas para videiras com sementes

Observações:

1. As doses de N dependem do vigor da planta no ciclo anterior e do volume da copa:

| Vigor da planta | Dose de N (kg ha ⁻¹) |
|-----------------|----------------------------------|
| Baixo | 150 |
| Médio | 100 |
| Alto | 60 |

2. Avaliar os teores de potássio disponível no solo ou a saturação de potássio em relação a CTC:

Saturação de K > 15% não aplicar potássio se C.E. > 2 dS m⁻¹;

3. Quando os teores de magnésio estão abaixo do nível crítico no solo ou em desequilíbrio com os teores de Ca e K deve ser realizada aplicação de Mg no solo ou foliar;

4. A aplicação de micronutrientes deve ser realizada com base em análise de solo e, preferencialmente, foliar. A dose a ser aplicada deve estar em torno de:

1,0 g/planta de Boro; 4,5 g/planta de Zinco; e pulverização com molibdato de sódio ou de amônio a 0,05%, no período de brotação, como fonte de Mo.

8.4.2. Uvas de mesa sem semente

Uvas de mesa sem semente apresentam baixa demanda por nitrogênio e maior demanda por potássio em relação àquelas com sementes. As doses de N a serem aplicadas na fase de produção são definidas em função do vigor da planta e do porta-enxerto (Tabela 2). As doses potássio devem ser aumentadas em 30% nestas cultivares em relação às uvas com sementes.

Tabela 10. Doses de N indicadas para a adubação de produção de uvas sem semente

| Vigor da copa | Porta-enxerto | | |
|---------------|--------------------------------------|-------|----------------|
| | Pouco vigoroso | Médio | Muito vigoroso |
| | ----- kg ha ⁻¹ de N ----- | | |
| Médio | 90 | 75 | 50 |
| Alto | 60 | 50 | 25 |
| Muito alto | 30 | 25 | 0 |

8.4.3. Exemplo de cálculo de fertirrigação

Informações sobre o cultivo

Cultura: videira

Cultivar: Sugraone

Porta-enxerto: IAC 766

Plantas com vigor alto

Espaçamento: 3 x 2 m (1666 plantas ha⁻¹)

Idade: 2 anos (2º ciclo de produção)

Produtividade esperada: 25 t ha⁻¹

Sistema de irrigação: gotejamento, com uma linha de distribuição com emissores espaçados de 0,5 m e vazão de 4L h⁻¹

Análise de solo e de folhas

Resultado de análise de solo

| Nº protocolo | Profundidade | C.E. | pH | M.O. | P | K | Ca | Mg | Na | Al | H+Al | SB | CTC | V | Cu | Fe | Mn | Zn |
|--------------|--------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------------|--|-----|-----|------|------|------|------|------|---------------------------------|-----|----|----|----|
| | | dS m ⁻¹ | H ₂ O | g kg ⁻¹ | mg dm ⁻³ | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | % | ----- mg dm ⁻³ ----- | | | | |
| 115.442 A2 | 0-20 | 0,2 | 6,9 | 12,3 | 70 | 0,39 | 2,6 | 1,0 | 0,03 | 0,05 | 0,99 | 4,02 | 5,01 | 80 | 0,9 | 20 | 23 | 5 |

Resultado de análise foliar

| Nº Protocolo | Identificação | N | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn | Na |
|--------------|---------------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|-------|------|------|
| 56-020 | Folha videira | 30,2 | 2,7 | 5,0 | 11,1 | 2,6 | 2,7 | 54,3 | 15,0 | 79,0 | 220,0 | 20,0 | 60,0 |

Interpretação dos resultados de análise de solo e foliar

A C.E. do solo apresenta valor adequado, o pH está na faixa adequada, os teores de matéria orgânica são baixos e os teores de P, K, Ca e Mg estão adequados ao cultivo da videira. A CTC apresenta valores médios e a saturação por base está adequada. Com relação aos micronutrientes, os teores de Mn e Zn no solo são altos.

Os teores de K, Ca, Mg e S estão abaixo do padrão recomendado para a videira, principalmente os teores de K e Mg. Com relação aos micronutrientes Cu e Fe apresentam valores ligeiramente abaixo do padrão nutricional e os teores de Zn são baixos.

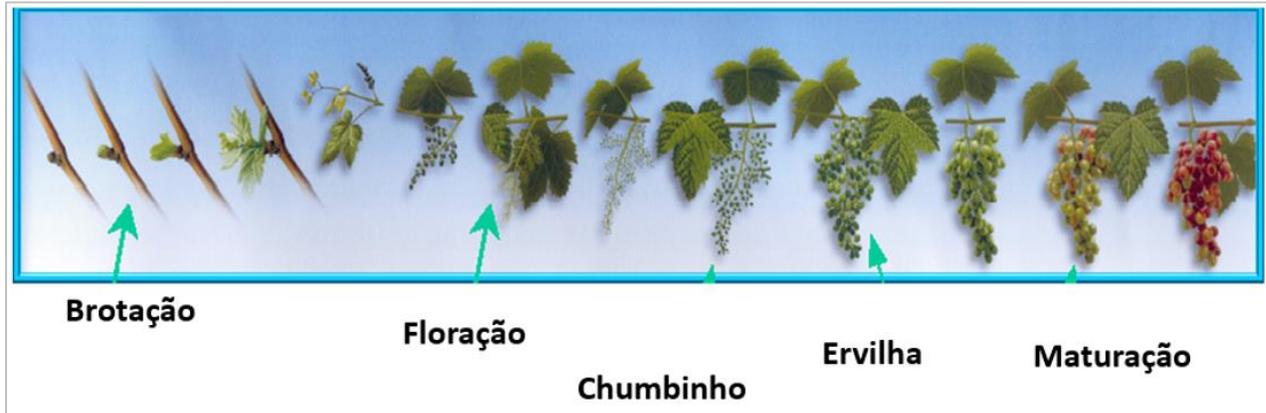
Recomendação de adubação

As quantidades de N, P₂O₅ e K₂O são recomendadas de acordo com as tabelas 1 e 2. As doses de Mg equivalem a 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio. O S é fornecido como íon acompanhante no sulfato de potássio e de magnésio. O Fe pode ser fornecido como fertilizante comercial solúvel na forma quelatizada. Cu normalmente é fornecido em grande quantidade pelos defensivos agrícolas e o Zn deve ser fornecido via foliar, uma vez que existe em grande quantidade do solo, mas a planta não pode absorvê-lo devido a competição com outros íons. Existe ainda a possibilidade de que a análise de solo apresente contaminação com este íon, o que justifica a sua aplicação.

Tabela 11. Recomendação de fertilizantes via fertirrigação

| Nutriente | Dose kg ha ⁻¹ | Fonte | Forma de aplicação |
|-------------------------------|-----------------------------|--|--------------------|
| N | 50 | Nitrato de Cálcio; Ureia; Nitrato de Potássio | Fertirrigação |
| P ₂ O ₅ | 20 | Ácido Fosfórico | Fertirrigação |
| K ₂ O | 150 | Nitrato de Potássio; Sulfato de Potássio | Fertirrigação |
| Mg | 17 | Sulfato de Magnésio | Fertirrigação |
| S | | Íon acompanhante | Fertirrigação |
| Fe | | Fertilizante quelatizado | Fertirrigação |
| Cu | | Defensivo | Pulverização |
| Zn | | Fertilizante foliar | Pulverização |

8.4.4 Plano de fertirrigação



Fenologia da videira: etapas de desenvolvimento da planta durante um ciclo de produção.

Distribuição dos nutrientes durante o ciclo de produção

A distribuição dos nutrientes é realizada em função da demanda nas fases de desenvolvimento da planta. São realizadas aproximadamente 3 aplicações por semana.

| Nutriente | Período (dap) | Nº de Aplicações |
|-------------|---------------|------------------|
| N, P, K, Mg | 3 a 28 | 11 |
| N | 36 a 63 | 12 |
| P, K, Mg | 36 a 70 | 15 |
| P, K | 71 a 84 | 6 |

Participação de nutrientes em cada fase do ciclo de produção

| Período | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Mg |
|---------|---------------|-------------------------------|------------------|----|
| dap | ----- % ----- | | | |
| 3 a 28 | 60 | 20 | 20 | 50 |
| 36 a 63 | 40 | - | - | - |
| 36 a 70 | - | 60 | 70 | 50 |
| 71 a 84 | - | 20 | 10 | - |

dap: dias após a poda.

Doses de fertilizantes aplicadas em cada fertirrigação

Estas são as doses de fertilizantes calculadas para cada evento de fertirrigação. Estes fertilizantes também podem ser preparados em solução estoque para uma determinada fase, por exemplo, para a fase de brotação a floração, entre 3 e 28 dap, que prevê 11 aplicações. Contudo, para preparo da solução estoque deve ser observada a compatibilidade entre os fertilizantes. Neste exemplo, o ácido fosfórico não poderá ser armazenado na solução estoque devido ao risco de precipitação com o nitrato de cálcio. Neste caso, ele deve ser aplicado separadamente, após a fertirrigação dos demais ou armazenado em recipiente individual, separados dos demais fertilizantes.

| Período | Fertilizante | Dose por aplicação | |
|---------|---------------------|--------------------|---------------------|
| dap | | | |
| 3 a 28 | Nitrato de Potássio | 5,93 | kg ha ⁻¹ |
| | Nitrato de Cálcio | 13,98 | kg ha ⁻¹ |
| | Ácido Fosfórico | 0,35 | L ha ⁻¹ |
| 36 a 63 | Ureia | 3,70 | kg ha ⁻¹ |
| 36 a 70 | Sulfato de Potássio | 14,00 | kg ha ⁻¹ |
| | Sulfato de Magnésio | 9,35 | kg ha ⁻¹ |
| | Ácido Fosfórico | 0,77 | L ha ⁻¹ |
| 71 a 84 | Sulfato de Potássio | 5,00 | kg ha ⁻¹ |
| | Sulfato de Magnésio | 5,84 | kg ha ⁻¹ |
| | Ácido Fosfórico | 0,64 | L ha ⁻¹ |

dap: dias após a poda

9. MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação deve seguir as recomendações de período de aplicação, frequência, doses e fontes assegurando, dessa maneira, uma adequada disponibilidade de água e nutrientes na zona radicular da planta.

Para minimizar problemas de precipitação e, posteriormente, de entupimento, recomenda-se avaliar a compatibilidade de fertilizantes com a água de irrigação a ser utilizada e com outros produtos a serem aplicados simultaneamente. Um teste simples de compatibilidade pode ser feito misturando um ou mais fertilizantes a serem injetados com a água de irrigação em um recipiente, na mesma taxa de diluição a ser utilizada. Neste caso, deve-se ter o cuidado de usar a própria água de irrigação para solubilizar os fertilizantes, agitar a solução por alguns minutos e observar, por pelos menos uma hora, a ocorrência de precipitação ou turbidez acentuada na solução. Se a solução permanecer clara e transparente, será provavelmente seguro injetar os fertilizantes testados.

Para a realização da fertirrigação, recomenda-se dividir o processo em três etapas, a primeira para eliminar o ar das tubulações e proporcionar o equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação; a segunda para a aplicação dos fertilizantes, a terceira para a lavagem do sistema de irrigação. Assim, elimina-se particulares e vestígios de nutrientes, conseqüentemente, evitando a proliferação de algas e bactérias; e melhor incorporação do fertilizante na zona de maior concentração do sistema radicular da cultura.

Para definir o tempo de cada etapa, o primeiro passo será determinar o tempo que a água, conseqüentemente solução de nutrientes, demora para percorrer a distância entre o injetor de fertilizantes e o emissor situado no ponto mais distante. Um procedimento prático para determinar o tempo necessário para deslocar entre o injetor de fertilizantes e o ponto mais distante, colocar um corante na água e computa-se o tempo de deslocamento, quando iniciar a aplicação da água com o corante dissolvido até o momento que a água atinge o ultimo emissor, usando cronômetros. Este tempo, acrescido de uma margem de segurança de 15 a 20 % do tempo de deslocamento da água, será o tempo necessário para lavar o sistema de irrigação. O

tempo para o equilíbrio hidráulico recomenda-se deixar o sistema de irrigação funcionar por um período de 15 a 20 minutos. E o restante do tempo será para aplicação dos fertilizantes.

A frequência da fertirrigação depende, dentre outros fatores, do tipo de fertilizante e do solo. Fertilizantes com maior potencial de lixiviação, como os nitrogenados, devem ser aplicados mais frequentemente que aqueles com menor potencial, como os potássicos. Todavia, na prática os fertilizantes são aplicados com a mesma frequência. Solos de textura argilosa, por apresentar maior capacidade de armazenamento de água, requerem aplicação menos frequente de água e também de fertilizantes. Por outro lado, em solos de textura arenosa, que requerem aplicação mais frequente água, a frequência da fertirrigação deve ser a mesma da irrigação.

Existem orientações a serem observadas na dissolução dos fertilizantes (Burt et al., 1995):

- Verificar a compatibilidade dos fertilizantes a serem dissolvidos simultaneamente. Fertilizantes contendo cálcio, se misturado com fertilizantes contendo sulfatos, resulta na formação de sulfato de cálcio, de baixa solubilidade e, conseqüente aumento de precipitação de partículas, que obstruem os emissores de água.
- Quando se dissolve fertilizantes líquidos e sólidos no mesmo recipiente, deve-se, colocar os fertilizantes líquidos antes dos fertilizantes sólidos, pois os fertilizantes líquidos podem proporcionar aumento de temperatura da água, e alguns fertilizantes sólidos causam a redução da temperatura da solução, interferindo na solubilidade dos componentes da solução.
- Deve-se efetuar a agitação dos fertilizantes, evitando, conseqüentemente, a formação de precipitados.
- Adicionar os ácidos à água, e não o contrário.
- Recomenda-se cautela ao usar água rica em cálcio e magnésio ao dissolver fertilizantes fosfatados e sulfúricos, pois podem formar substâncias insolúveis.

O tanque usado para dissolução dos fertilizantes deve ser confeccionado de materiais não corrosivos, pois a maioria dos fertilizantes são corrosivos, em maior ou menor grau. Recomenda o uso de dois tanques, o primeiro instalado a uma altura maior que segundo. No primeiro tanque dissolvem-se os fertilizantes. Após a completa dissolução dos mesmos, transferir a solução para o tanque colocado na posição mais baixa, tendo-se cuidado de fazer uma filtragem para reter as impurezas existentes na solução (Figura 14).

A limpeza do sistema de irrigação, no mínimo uma vez por semestre, pode ser feita aplicando ácido (Burt et al., 1995). O processo consiste fazer a aplicação de ácido desligar o sistema de irrigação, aguardar duas horas, abrir todos os finais de linha, linha de gotejadores, laterais; ligar o sistema de irrigação e aguardar até que a água saia completamente limpa nos finais de linhas.

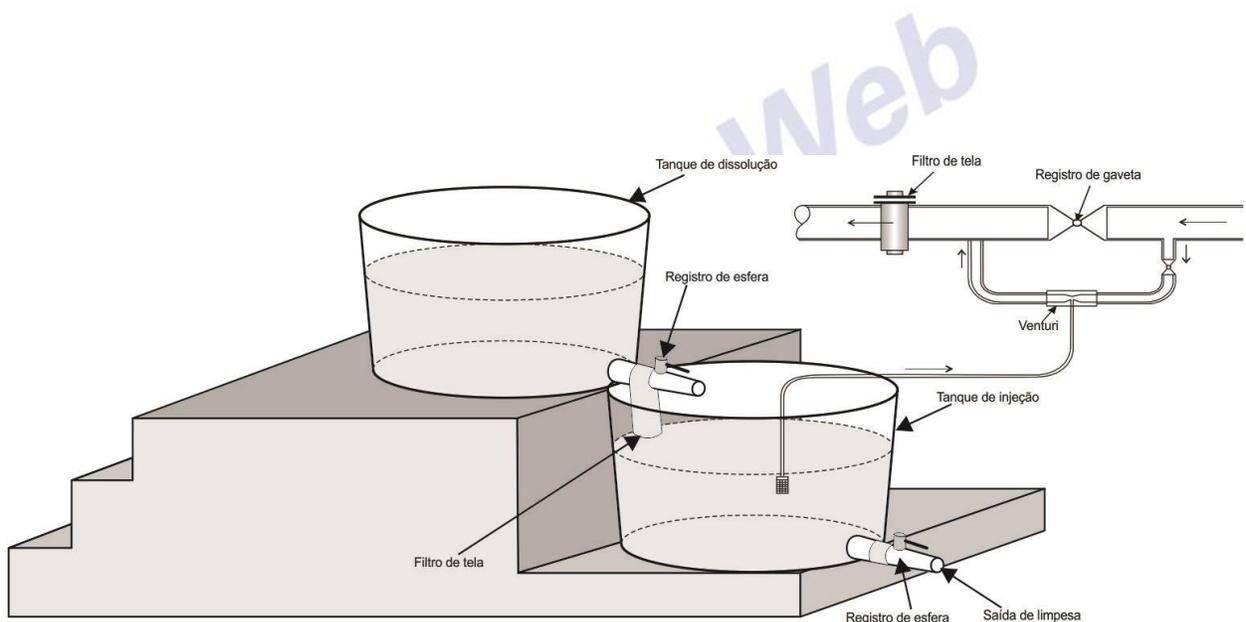


Figura 14. Disposição dos tanques para o preparo da solução de fertilizantes (Desenho: (Desenho: José Cletis Bezerra).

Para combater algas, recomenda-se aplicação de cloro. O processo de cloração consiste na aplicação de produtos que contem altas concentrações de cloro, como ácido hipocloroso,

hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio (Burt et al., 1995). A aplicação de hipoclorito deve ser feita com precaução, pois estes produtos podem causar toxidez às plantas.

Baixa concentração de manganês (menor que $0,2 \text{ mgL}^{-1}$) é adequada para o crescimento de bactérias. Essas bactérias oxidam componentes de sistema de irrigação confeccionados de ferro, podendo causar obstrução nos emissores de água. Para solucionar o problema, recomenda a aeração da água, que promove a precipitação do ferro (Pizarro 1978). Pequenos reservatórios podem ser cobertos para evitar a entrada de luz solar e prevenir o desenvolvimento de bactérias.

Herbicidas podem ser aplicados, via quimigação, para evitar o crescimento de raízes nos emissores de água e evitar a obstrução dos mesmos (SCHWANKL et al., 1998).

Quimigação

Atualmente, uma nova técnica de aplicação de produtos fitossanitários, herbicidas, fungicidas, a quimigação, aplicação de produtos químicos via água de irrigação, vem se desenvolvendo. Esta técnica está se intensificando pelos produtores que dispõem de equipamentos de irrigação, pois é uma técnica eficiente com muitos produtos e economicamente viável.

Produtores rurais já fazem uso desse método de aplicação com sucesso, mas sem o devido respaldo a pesquisa. Produtores, por sua conta e risco e com base em suas próprias observações, estão fazendo aplicações de agroquímicos sem o conhecimento dos riscos ambientais que a nova técnica pode acarretar, quando utilizada de maneira inadequada. A pesquisa precisa responder às dúvidas dos produtores e fornecer dados para evitar possíveis fracassos e danos ao meio ambiente. Os mais diversos tipos de produtos, entre eles os herbicidas, os inseticidas, os fungicidas, os nematicidas, além dos fertilizantes, são passíveis de serem aplicados via irrigação.

No Brasil, somente nos últimos anos é que a quimigação tem-se firmado como técnica, sendo os proprietários dos sistemas de irrigação localizada e pivô central os que fazem uso mais frequente dessa prática. Com a evolução dos sistemas de irrigação, a introdução de novos defensivos no mercado, o aumento crescente do custo da mão de obra e a necessidade de elevar

a eficiência dos insumos agrícolas, criou-se expectativa em relação à utilização dessa tecnologia. Entretanto, no Brasil, como não há legislação específica sobre as precauções a serem tomadas na quimigação, as medidas e os equipamentos de segurança a serem adotados dependem, basicamente, da conscientização do produtor irrigante e do custo envolvido.

Vale ressaltar que os defensivos, assim como a sua forma de aplicação, devem estar devidamente registrados no órgão federal competente. É importante frisar que nem todos os defensivos proporcionam resultados satisfatórios na quimigação em virtude, principalmente, de sua formulação. Em alguns casos, os métodos convencionais são preferíveis.

Para a cultura do melão, o tiametoxan (neonicotinoide), aplicado via irrigação, possui período de carência de 64 dias em meloeiro. Consequentemente, para culturas de ciclo curto, como as anuais, o único momento possível de sua utilização por este método é logo após a germinação ou transplântio, em decorrência que, o tempo para colheita é de aproximadamente 65 dias, caso da cultura do melão.

Os métodos de aplicação dos agroquímicos em meloeiro são realizados por pulverização e via irrigação. No primeiro caso, são realizadas com equipamento costal e/ou pulverizadores em barra de trator. Para o uso via sistema de irrigação, os neonicotinoides são a única opção, que possuem ação sistêmica e recomendações específicas para aplicação por este método.

Para as áreas de meloeiro que já estejam com presença de mosca branca, é recomendada uma aplicação preventiva de neonicotinoide. Esta deve ser realizada via irrigação na emergência das plântulas. Na sequência, deve-se iniciar o monitoramento de mosca branca, a cada três dias.

Para a cultura do café, em experimento realizado na Embrapa Semiárido, está sendo usado produtos químicos para o combate do bicho mineiro e pulgão, aplicados via água de irrigação. Os produtos usados são: tiametoxan, abamectina e cipermetrina. Aplicação realizada via água de irrigação por gotejamento.

BIBLIOGRAFIA

ALBUQUERQUE, T. C. S. de; SILVA, D. J.; FARIA, C. M. B. de; PEREIRA, J. R. Nutrição e adubação. In: SOARES, J. M.; LEAO, P. C. de S. (Ed.). A vitivinicultura no Semiárido brasileiro. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009. p. 431-480

ANTUNES, R. C. B., RENA, A. B.; MANTOVANI, E. C. **Fertirrigação na cultura do cafeeiro arábica**. Viçosa, MG: UFV: 2001. 39 p. (UFV. Engenharia na Agricultura. Boletim Técnico, 5).

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. rev. e ampliada. Viçosa, MG: UFV, 1995. 657 p.

BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Ed.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 253-264.

BRITO, R. A. L.; PINTO, J. M. Aplicação de produtos químicos via irrigação (quimigação). In: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 421-447.

BURT, C; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. Fertigation. California Polytechnic State University, Irrigation Training and Research Center, San Luis Obispo, 1998. 295 p.

CAVALCANTI, F. J. de A., (Coord.) Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2. aproximação. Recife: IPA, 2008. 212 p.

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.

DENICULI, W.; FEITOSA FILHO, J. C.; LOUREIRO, B. T.; AMARAL, F. de A. L do. Desempenho de um injetor de fertilizante Venturi na fertirrigação por microaspersão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 39, n. 226, 554-563, 1992.

FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R.; DENMEAD, O.T.; MUIRHEAD, W.A; LEUNING R. Transformation and transfers of nitrogen after irrigating a cracking clay soil with a urea. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v.36, p.685-694, 1985.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; NETO, D. D. Aplicação de fertilizante via água de irrigação. Piracicaba: ESALQ, 1994. 35 p. (ESALQ. Série Didática, 8).

HAMAN, D. Z.; SMAJSTRIA, A. G.; ZAZUETA, F. S. Chemical injection methods for irrigation. Gainesville. University of Florida, 1990. 21 p. (Florida Cooperative Extension Service. Circular, 864).

HAYNES, R.J. Movement and transformations of fertigated nitrogen below trickle emitters and their effects on pH in the wetted soil volume. **Fertilizer Research**, v.23, p.105-112, 1990.

HERGERT, G.W., REUSS, J.O. Sprinkler application of P and Zn fertilizers. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.5-8, 1976.

HERNANDEZ, F. B. T. Potencialidade da fertirrigação In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUÍDOS, 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1993. p. 199-210.

LANDIS, T.D. Mineral nutrients and fertirrigation. In: LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; McDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. **The container tree nursery manual**, 4. Agric. Handbook; 674). Washington, D.C.: Department of Agriculture; Forest Service, 1989. p. 1-67.

LOPEZ, C. C. Fertirrigação: aplicação na horticultura. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINE, E.; BLANCO, F. F.; CAMPONEZ DO BRASIL, R. P.; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. cap. 8, p. 269–288.

LOPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. 2. ed. rev... Madri: Mundi-Prensa, 1997. 405 p.

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

LORENS, O.A.; MAYNARD, D.N. **Knott's Handbook for vegetables growers**. 3 ed. New York: John Wiley, 1988. 456p.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. cap. 1, p.11-74.

PAPADOPOULOS, I. Tendências da fertirrigação: processos de transição na fertilização convencional para a fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINE, E.; BLANCO, F. F.; CAMPONEZ DO BRASIL, R. P.; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. cap.1, p. 9-59.

PASCUAL, B. **Riegos de gravedad y a presión**. Valencia: UPV: ETSIA: SPUPV, 1996. 465 p

PINTO, J. M.; SOARES, J. M. **Fertirrigação: a adubação via água de irrigação**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1990. 16 p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 70).

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión y exudación**. 3. ed. rev. ampl. Madrid: Mundi-Prensa. 1996. 513 p.

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid, Agrícola Espanhola, 1978. 512p.

RAUSCHKOLB, R.S.; ROLSTON, D.E.; MILLER, R.J., et al. Phosphorus fertilization with drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, p.68-71, 1976.

ROLSTON, D.E.; MILLER, R.J.; SCHULBACH, H. Management principles. In: NAKAYAMA, E.S.; BUCKS, D.E. ed. **Developments in agricultural engineers**. Berkeley, 1986.

SILVA, D. J.; BORGES, A. L. Fertilizantes para fertirrigação. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 2. ed. rev. ampl. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2009. p. 20-36.

SOUSA, V. F., PINTO, J. M., MAROUELLI, W. A., COELHO, E. F., MEDEIROS, J. F. de, SANTOS, F. J. S. de Manejo da fertirrigação em fruteiras e hortaliças In: **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**.1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, p. 657-687.

SOUSA, V. F., COELHO, E. F., PINTO, J. M., NOGUEIRA, L. C., COELHO FILHO, M.A., ARAUJO, A. R. de Manejo da fertirrigação em fruteiras e hortaliças In: **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**.1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, p. 319-337.

VILLAS BOAS, R. L.; BULL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.293-319.

VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E.; PENTEADO, S.R. Fertilizantes e Fertirrigação In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. (Ed.) **Fertilizantes Fluidos**. Piracicaba: POTAFÓS, 1994. p.283-308.