

Fertirrigação



ISSN 1808-9992

Julho, 2009

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Semi-Árido
Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento*

Documentos 219

Fertirrigação

*José Maria Pinto
José Crispiniano Feitosa Filho*

Embrapa Semi-Árido
Petrolina, PE
2009

Esta publicação está disponibilizada no endereço:

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

Exemplares da mesma podem ser adquiridos na:

Embrapa Semi-Árido

BR 428, km 152, Zona Rural

Caixa Postal 23 56302-970 Petrolina, PE

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

sac@cpatosa.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Maria Auxiliadora Coelho de Lima

Secretário-Executivo: Eduardo Assis Menezes

Membros: Diógenes da Cruz Batista

Elder Manoel de Moura Rocha

Geraldo Milanez de Resende

Gislene Feitosa Brito Gama

Josir Laine Aparecida Veschi

Mirtes Freitas Lima

Tony Jarbas Ferreira Cunha

Supervisor editorial: Eduardo Assis Menezes

Revisor de texto: Sidinei Anunciação Silva

Normalização bibliográfica: Helena Moreira de Queiroga Bezerra

Gislene Feitosa Brito Gama

Tratamento de ilustrações: Háviner Uchoa Pedrosa

Foto(s) da capa: José Maria Pinto

Editoração eletrônica: Háviner Uchoa Pedrosa

1ª edição (2009): Formato digital

Todos os direitos reservados.

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

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

CIP - Brasil. Catalogação na publicação

Embrapa Semi-Árido

Pinto, José Maria.

Fertirrigação / José Maria Pinto e José Crispiniano Feitosa Filho.

-- Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009.

49 p. : il. ; 21 cm. - (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 219).

1. Fertirrigação. 2. Adubação. I. Título. II. Série.

CDD21 631.587

© Embrapa 2009

Autores

José Maria Pinto

Engenheiro agrícola, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE.
jmpinto@cpatsa.embrapa.br

José Crispiniano Feitosa Filho

Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Engenharia Agrícola, professor da Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB.
jfeitosa@cca.ufpb.br

Sumário

| | |
|---|-----------|
| Introdução..... | 6 |
| Vantagens da fertirrigação..... | 7 |
| Limitações da fertirrigação..... | 8 |
| Fatores que afetam a fertirrigação..... | 8 |
| Fatores relacionados aos adubos utilizados na fertirrigação..... | 9 |
| Tipos, classificação e características dos adubos nítricos recomendados para uso via ertirrigação..... | 11 |
| Fatores relacionados às plantas..... | 12 |
| Fatores relacionados ao tipo de injetor | 14 |
| Injetores que utilizam energia | 15 |
| Bomba centrífuga | 15 |
| Bomba injetora tipo diafragma | 16 |
| Bomba injetora tipo pistão | 17 |
| Tanque de derivação de fluxo | 18 |
| Cálculo da concentração no tanque de derivação de fluxo | 19 |
| Cálculo do tempo de concentração no tanque de derivação de fluxo..... | 21 |

| | |
|--|-----------|
| Injetor tipo Venturi | 23 |
| Injetor elétrico de fertilizantes | 27 |
| Fatores que contribuem para a eficiência da fertirrigação | 28 |
| Compatibilidade entre os produtos utilizados na fertirrigação..... | 28 |
| Parcelamento dos produtos na água de irrigação | 29 |
| Tempo de aplicação da solução em relação ao tempo de irrigação | 29 |
| Uniformidade de distribuição da solução na água de irrigação | 30 |
| Fatores relacionados à relação custo/benefício da fertirrigação | 30 |
| Corrosão dos produtos utilizados na fertirrigação | 32 |
| Fatores relacionados à contaminação do meio ambiente | 33 |
| Componentes do cabeçal de controle | 33 |
| Automação e medidas de segurança na quimigação | 34 |
| Automação do sistema de injeção | 34 |
| Medidas de segurança do sistema de injeção | 34 |
| Exemplos de cálculo na quimigação | 34 |
| Critérios para selecionar o equipamentos de fertirrigação | 35 |
| Cálculo da solução para fertirrigação | 38 |
| Manejo da fertirrigação | 46 |
| Referências | 47 |

Fertirrigação

José Maria Pinto

José Crispiniano Feitosa Filho

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 às culturas, como no incremento de novas áreas irrigadas. Dentre as vantagens da irrigação, destaca-se a possibilidade de se utilizar o próprio sistema de irrigação como meio condutor e distribuidor de produtos químicos como fertilizantes, inseticidas, herbicidas, nematicidas, reguladores de crescimento, etc., simultaneamente com a água de irrigação, prática conhecida, atualmente, como “quimigação”.

Embora o termo quimigação seja relativamente novo, a ideia de se utilizar o sistema de irrigação como condutor de agroquímicos existe desde o início dos anos 1940. Ano a ano, essa técnica vem sendo aprimorada e empregada nos países que utilizam a irrigação mais tecnificada, como os Estados Unidos, Israel e Espanha.

A fertirrigação, aplicação de fertilizantes via água de irrigação, é o mais eficiente meio de fertilização e combina dois principais fatores essenciais no crescimento e desenvolvimento das plantas: água e nutrientes. Segundo Threadgill (1985), pelo menos uma vez por ano, aproximadamente 4,3 milhões de hectares são cultivados nos EUA com a utilização dessa prática. O crescimento anual da fertirrigação naquele país está em torno de 8 a 9%, o que mostra a sua importância nos cultivos irrigados.

Embora a fertirrigação apresente vantagens, existe uma carência de informações sobre período de aplicação, frequência, doses e tipos de fertilizantes para a maioria das culturas irrigadas.

No sentido de gerar tecnologias para áreas irrigadas, a Embrapa Semi-Árido vem desenvolvendo pesquisas visando solucionar os problemas e definir critérios técnicos da aplicação de fertilizantes por meio de sistemas de irrigação.

Vantagens da fertirrigação

Prieto (1985) afirma que, teoricamente, qualquer método de irrigação pode ser utilizado para condução e aplicação de produtos químicos, porém a uniformidade de distribuição é obtida naqueles métodos que conduzem a água em tubulações fechadas e pressurizada, mais adequados para uso dessa prática. Dependendo do sistema de irrigação e dos cuidados em realizar a fertirrigação, diferentes vantagens podem ser obtidas em relação aos métodos convencionais de aplicação dos adubos, como:

- maior aproveitamento do equipamento de irrigação, condicionando maior rentabilidade e melhor uso do capital investido;
- aplicação dos nutrientes no momento certo e quantidade exata requerida pelas plantas;
- menor necessidade de mão-de-obra para se fazer as adubações, pois aproveita praticamente o mesmo trabalho requerido para se fazer as irrigações;
- menor compactação do solo com redução de tráfego de máquinas dentro da área, como acontece nos métodos tradicionais de adubação;
- evita danos físicos às culturas, em razão dos mesmos motivos citados no item anterior, evitando derrubadas das flores, de frutos e dos galhos das plantas, o que reduz a incidência e propagação de pragas e doenças;
- aplicação de micronutrientes: geralmente, na adubação em pequenas dosagens por área, dificilmente se consegue, por métodos manuais, uma boa uniformidade de distribuição do adubo, o que, facilmente, se consegue com fertirrigação;

- possibilidade de uso em diferentes sistemas de irrigação;
- aumento de produtividade e qualidade comercial dos produtos;
- boa uniformidade de distribuição dos adubos no solo, caso haja, também, boa uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação.

Limitações da fertirrigação

Alguns contrafeitos que, porventura, venham surgir, são em razão de não se observar os aspectos técnicos relacionados a: nutrição de plantas, química e física de solo, fisiologia vegetal, água, clima e a própria prática da irrigação. Como limitações, pode-se citar:

- exigência de conhecimentos técnicos dos adubos e dos cálculos das dosagens;
- exigência de pessoal treinado para o manuseio dos adubos e injetores;
- ocorrência de danos ambientais com a contaminação de fontes de água;
- possibilidade de ocorrência de problemas de corrosão dos equipamentos de irrigação;
- exigência de problemas de toxidez ao agricultor e problemas de toxicidade e queima das folhagens das plantas;
- elevação do custo inicial do sistema de irrigação;
- aumento das perdas de carga no sistema de irrigação.

Fatores que afetam a fertirrigação

Para se ter uma fertirrigação adequada, alguns fatores devem ser considerados e devidamente analisados, os quais podem ter maior ou menor importância dependendo de cada uso:

- diferentes tipos de adubos utilizados na fertirrigação;
- fatores relacionados à nutrição das plantas;
- tipo de solo;
- qualidade da água de irrigação;

- espécie de planta;
- tipo de injetor utilizado no sistema de irrigação;
- relação custo/benefício;
- corrosão dos produtos;
- contaminação do meio ambiente;
- outros fatores (compatibilidade entre os produtos; posição do injetor no sistema; concentração e taxa de injeção; parcelamento; tempo de aplicação; quantidade e uniformidade de aplicação dos produtos na água de irrigação).

Fatores relacionados aos adubos utilizados na fertirrigação

Já é de conhecimento que, em relação às culturas, uma fonte de nutriente não é melhor que outra, porém as características peculiares de cada produto levam às diferenças que justificam melhor o uso de determinado produto em detrimento de outros. A exemplo disso, tem-se o caso do nitrogênio, que apresenta boa solubilidade em água, efeito sobre o pH do solo, forma do N no produto e possibilidade de contaminação do meio ambiente. Isso pode condicionar diversas opções de escolha de diferentes fontes desse elemento. Como existem diferentes fontes de fertilizantes que podem ser utilizados na fertirrigação, a escolha de cada produto é função do sistema de irrigação, da cultura fertirrigada, do tipo de solo, da solubilidade de cada produto na água de irrigação e, principalmente, de seu custo.

Ao se escolher os produtos a serem aplicados via água de irrigação, deve-se observar aspectos como: solubilidade do produto na água; poder acidificante do solo e água de irrigação; compatibilidade com outros produtos; pureza do produto comercial; poder corrosivo; riscos ambientais e custos com a fertirrigação.

A solubilidade do produto é considerada um dos fatores mais importantes na fertirrigação, vez que fertilizantes e demais produtos insolúveis ou pouco solúveis podem condicionar obstruções das tubulações e emissores do sistema de irrigação.

Hernandez et al. (1987) recomendam que adubos que contêm aditivos para melhorar sua conservação ou para tornar sua liberação mais lenta devem ser descartados para uso via fertirrigação.

Shani (1983) classifica os fertilizantes com possibilidade de uso na fertirrigação em três grupos:

- a) fertilizantes líquidos comercializados na forma de soluções prontas para serem usadas sem tratamento prévio;
- b) fertilizantes sólidos facilmente solúveis, que devem ser dissolvidos antes de serem utilizados,
- c) fertilizantes de baixa solubilidade e que não são recomendados para uso.

Os fertilizantes ricos em nitrogênio e potássio e os micronutrientes são, na sua maioria, solúveis em água e não apresentam problemas de uso. Já os fertilizantes fosforados, por serem, na sua maioria, insolúveis em água e por apresentarem disponibilidade lenta quando aplicados no solo, ocasionam problemas, por isso, seu uso não é aconselhado na fertirrigação. Embora existam alguns fertilizantes fosforados solúveis, como o fosfato de amônio, estes podem apresentar perigo se utilizados em água de irrigação com elevado teor de cálcio, devido à precipitação do fosfato de cálcio, que é insolúvel e causa obstruções de tubulações e de emissores do sistema de irrigação.

A aplicação de produtos contendo cálcio deve ser evitada, em razão de o cálcio poder trazer riscos com a formação de precipitados. O uso de cálcio deverá apenas se restringir quando os solos forem muito ácidos e com alto teor de sódio. O nitrato de cálcio como fonte de cálcio é o adubo mais solúvel em água e, por isso, o mais recomendado. Pode-se também usar o cloreto de cálcio.

Antes de aplicar um ou outro produto, deve-se verificar o pH da solução e ter o cuidado de fazer sua correção, elevando ou diminuindo para mantê-lo em valores adequados para cada cultura. Hernandez et al. (1987) recomendam utilizar 0,3 litro de ácido nítrico concentrado por kg de nitrato de cálcio.

Alguns fertilizantes injetados no sistema de irrigação podem se precipitar, como os fosfatos, caso a concentração de cálcio seja superior a 6,0 meq/L.

As concentrações de bicarbonatos acima de 5,0 meq/L provocam problemas ainda mais graves.

A aplicação da amônia anidra não é recomendada, devido à possibilidade do aumento do pH da água de irrigação. Valores superiores a 11 poderá levar à rápida precipitação do CaCO_3 .

Quando o pH da água for maior do que 7,5, o Ca e o Mg podem se acumular nos filtros, nas laterais e nos emissores do sistema de irrigação, o que pode trazer riscos de obstruções das tubulações e dos emissores, principalmente quando o valor de saturação do carbonato de cálcio for maior que 0,5 e a concentração da solução for maior que 300 meq/l.

Segundo Burt et al. (1995), a presença de bicarbonatos, carbonatos e silicatos na água de irrigação, não somente reduz a eficiência do fertilizante, como pode formar precipitados insolúveis que podem reduzir o diâmetro das tubulações e dos emissores.

Tipos, classificação e características dos adubos nítricos recomendados para uso via fertirrigação

Hernandez et al. (1987) definem fertilizantes líquidos como produtos que contêm nutrientes em suspensão ou em solução, podendo fornecer um ou mais elementos. A amônia anidra tem sido o adubo líquido mais utilizado na fertirrigação. É um gás que, em condições normais de temperatura e pressão, passa fácil para o estado líquido quando submetido a pressões elevadas ou a baixas temperaturas.

Na Tabela 1 são apresentados os produtos mais recomendados para uso na fertirrigação, bem como seus respectivos conteúdo de nutrientes.

Tabela 1. Solubilidade dos produtos recomendados para uso via fertirrigação.

| Produto | Conteúdo do nutriente (%) | | | | | | Solubilidade g/l de H ₂ O | | |
|-----------------------|---------------------------|------|-------------------------------|------|------------------|----------|---|------|------|
| | N | P | P ₂ O ₅ | K | K ₂ O | | 10°C | 20°C | 30°C |
| Uréia | 46 | - | 0 | - | 0 | - | 450 | 510 | 570 |
| Nitrato de Amônia | 33,5 | - | 0 | - | 0 | - | 610 | 660 | 710 |
| Sulfato de Amônia | 20 | - | 0 | - | 0 | - | 420 | 430 | 440 |
| Nitrato de Cálcio | 15,5 | - | 0 | - | 0 | 26,5 CaO | 950 | 1200 | 1500 |
| Fosfato mono-Amônio | 12 | 26,6 | 61 | - | 0 | - | 290 | 370 | 460 |
| Fosfato mono-Potássio | 0 | 22,6 | 52 | 28 | 34 | - | 180 | 230 | 290 |
| Nitrato de Potássio | 13 | - | 0 | 38 | 46 | - | 210 | 310 | 450 |
| Multi K + Mg | 12 | - | 0 | 35,6 | 43 | 2MgO | 230 | 320 | 460 |
| Multi K + NPK | 12 | 0,9 | 2 | 36,5 | 44 | - | 210 | 330 | 480 |
| Magnisal (Mg-nitrato) | 10,8 | - | 0 | - | 0 | 15,8 MgO | 2200 | 2400 | 2700 |
| Sulfato de Potássio | 0 | - | 0 | 41,5 | 50 | 0 | 80 | 100 | 110 |

Fonte: Montag e Scheneck (1998).

Fatores relacionados às plantas

As espécies de plantas necessitam de diferentes quantidades de água, de adubos e de condições ambientais para sobreviverem adequadamente. Algumas são mais tolerantes a estresse, carência de nutrientes e à salinidade do solo. A Tabela 2 apresenta os índices de tolerância de algumas espécies hortícolas à salinidade.

Tabela 2. Índices de tolerância de algumas espécies à salinidade.

| Culturas | Condutividade elétrica em extrato de solo saturado | | |
|-------------|--|-----------|---------------|
| | Limite (dS/m) | Perda (%) | Classificação |
| Abóbora | 2,5 | 13,0 | LS |
| Alface | 1,3 | 13,0 | LS |
| Aspargo | 4,1 | 2,0 | T |
| Batata | 1,7 | 12,0 | LS |
| Batata doce | 1,5 | 11,0 | LS |
| Beterraba | 4,0 | 9,0 | TN |
| Brócoli | 2,8 | 9,2 | LS |
| Cebola | 1,2 | 16,0 | S |
| Cenoura | 1,0 | 14,0 | S |
| Feijão | 1,0 | 19,0 | S |
| Milho doce | 1,7 | 12,0 | LS |
| Morango | 1,0 | 33,0 | S |
| Pimenta | 1,5 | 14,0 | LS |
| Repolho | 1,8 | 9,7 | LS |
| Tomate | 2,5 | 9,9 | LS |

T = tolerante; TN = tolerância normal; LS = levemente sensível e S = sensível.

Fonte: Vitti et al. (1994).

A fertirrigação na cultura do meloeiro pode induzir incrementos significativos tanto na produtividade quanto na qualidade de frutos. Na Tabela 3 são apresentados valores de distribuição percentual de alguns nutrientes para essa cultura.

Tabela 3. Distribuição percentual de nitrogênio, potássio, cálcio e fósforo a serem aplicados via fertirrigação, ao longo do ciclo de desenvolvimento do meloeiro.

| Nutriente | Ciclo (dias) | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1-7 | 8-14 | 15-21 | 22-28 | 29-35 | 36-42 | 43-49 | 50-56 |
| Quantidade relativa de nutrientes (%) | | | | | | | | | |
| Irrigação por Gotejamento | | | | | | | | | |
| Solos de textura fina ou 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 |

É preciso ter em mente que o sucesso da fertirrigação depende do bom planejamento e execução da irrigação. Água em excesso pode incrementar perdas de nutrientes, principalmente de nitrogênio, o que pode contaminar os aquíferos subterrâneos e superficiais.

Fatores relacionados ao tipo de injetor

Para se fazer fertirrigação, é necessário que o sistema de irrigação possua um injetor para incorporar os produtos na água de irrigação. Existem diferentes tipos de injetores, com variados custos, eficiência e fontes de energia utilizadas para seu funcionamento.

Howel et al. (1980) classificam os injetores de produtos químicos via água de irrigação em três grupos:

- aqueles que utilizam pressão efetiva positiva como a bomba injetora e a injeção feita por gravidade;
- os que utilizam diferença de pressão como o tanque de derivação e o injetor tipo Pitot e;

- aqueles que utilizam pressão efetiva negativa, a exemplo do injetor tipo Venturi e da sucção pela própria sucção da bomba de irrigação.

Injetores que utilizam energia

Injeção por gravidade

Esse método aproveita a energia de posição existente entre o reservatório contendo os fertilizantes e o nível em que se encontra a tubulação principal do sistema de irrigação. É um método de injeção de custo relativamente baixo, porém, só pode ser utilizado em condições onde os sistemas de irrigação trabalham com baixa pressão.

No funcionamento da injeção por gravidade, a solução contendo o produto a ser aplicado via água de irrigação é colocada num reservatório mantido num nível mais alto que o nível a tubulação principal do sistema de irrigação. A ação da pressão atmosférica faz com que a solução seja introduzida na tubulação ou nos canais de irrigação, se for o caso. Esse foi o primeiro processo utilizado para aplicar produtos químicos via água de irrigação. Seu custo de execução é insignificante, porém requer condições hidráulicas específicas para uso.

Talens (1994) cita um método simples utilizado em sistema de irrigação que trabalha com baixa pressão. Tal sistema consiste de pequenos reservatórios plásticos elevados a um nível superior em relação ao nível da tubulação que conduz a água de irrigação. O desnível entre o reservatório e o nível da água da tubulação é aproveitado como forma de energia para introduzir a solução na água. A incorporação da solução na água se faz controlando a pressão na tubulação de abastecimento por meio de um registro de abertura lenta instalado num ponto à montante da derivação ao reservatório.

Bomba centrífuga

Burt et al. (1995), referindo-se a esse tipo de bomba, afirmam que elas são acionadas por motores elétricos de pequeno porte, motores a diesel ou a gasolina, facilitando sua condução para diferentes locais nas áreas irrigadas. Além da facilidade no manuseio, possuem custo relativamente baixo, se comparado com os custos de outros tipos de bombas injetoras. Como desvantagens, destacam-se baixo rendimento e, caso haja variação

na energia, pode haver variação na rotação do motor, o que leva a uma variação direta na quantidade da solução injetada na tubulação de irrigação. As bombas injetoras centrífugas são as mais utilizadas em todo o mundo, em razão de proporcionar vazões de injeção constantes durante a fertirrigação. Em razão de serem fabricadas com materiais resistentes à corrosão e de funcionarem com pressão superior àquelas da bomba do sistema de irrigação, são bastante caras, podendo inviabilizar seu uso para fertirrigação de pequenas áreas.

Bomba injetora tipo diafragma

As bombas injetoras tipo diafragma (Fig. 1) são equipamentos que trabalham com uma pressão efetiva positiva e superior à pressão disponível no sistema de irrigação. Essas bombas são fabricadas com materiais resistentes à pressão e apresentam a vantagem de introduzir a solução na água de irrigação com taxa constante, o que nem sempre é possível com outros tipos de injetores.

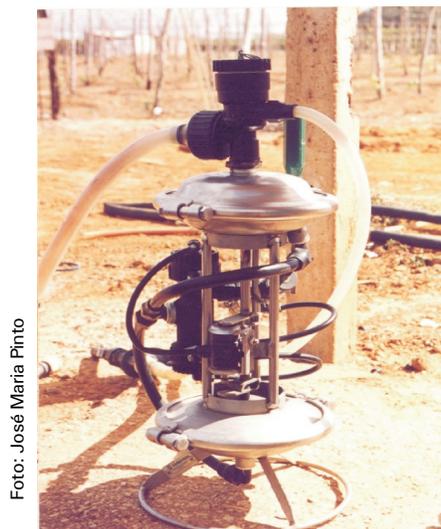


Foto: José Maria Pinto

Fig. 1. Bomba injetora tipo diafragma.

Existem bombas tipo diafragma com capacidade de injeção de 10 L/h a 250 L/h e que podem trabalhar com pressões de serviço entre 1,8 e 8 kg/cm² (NATHAN, 1994).

O problema decorre da reduzida vida útil dos diafragmas devido à fragilidade dos materiais com os quais são fabricados e por trabalharem em contato direto com soluções corrosivas. Isso exige uma manutenção rigorosa e reposição de peças (BURT et al., 1995).

Bomba injetora tipo pistão

As bombas injetoras tipo pistão (Fig. 2) são bombas dotadas de um ou mais pistões acoplados em blocos metálicos que se movimentam quando acionados por bielas ou acoplados em roldanas.



Fig. 2. Bomba injetora tipo pistão com motor elétrico de uma e duas entradas.

No início de cada ciclo, tem-se a abertura de uma válvula de aspiração que deixa passar para o interior de câmara um volume de solução proveniente de um reservatório. Quando o pistão executa o movimento em sentido contrário, a válvula de aspiração se fecha e a válvula propulsora é aberta. O aumento da pressão no interior do cilindro provoca a abertura de válvula de descarga que deixa passar o volume da solução anteriormente aspirado e, daí, ela passa a ser injetada na tubulação de irrigação.

Atualmente, é o sistema mais exato de injeção e o mais desenvolvido. Apresenta como vantagem a possibilidade de automação, podendo-se regular sua programação a partir de um cronograma de irrigação.

Tanque de derivação de fluxo

O tanque de derivação de fluxo é um recipiente geralmente metálico, de forma cilíndrica, conectado à tubulação principal de irrigação (Fig. 3).

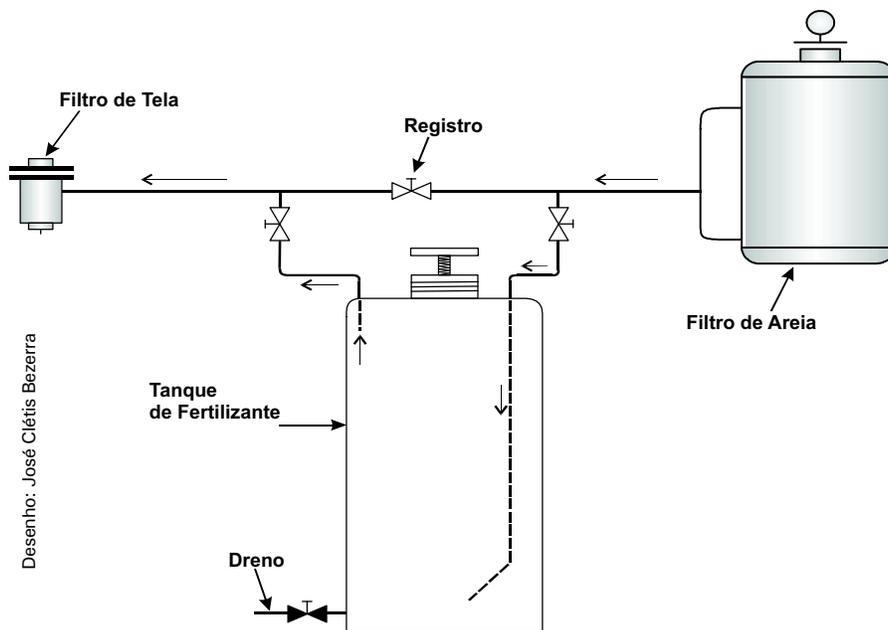


Fig. 3. Tanque de derivação de fluxo.

A solução é incorporada na tubulação de descarga do sistema de irrigação através de uma tubulação que sai do reservatório. Um registro de fechamento lento é instalado entre os pontos de entrada e de saída das duas tubulações citadas, justamente para criar um diferencial de pressão que permite o processo de funcionamento do tanque de derivação. O diferencial de pressão 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, a solução passa a ser conduzida pela tubulação de saída e introduzida na tubulação principal do sistema de irrigação.

Segundo Roston et al. (1986), a quantidade da mistura que permanece no tanque em determinado tempo depende da solubilidade dos fertilizantes empregados, do diâmetro das tubulações de entrada e de saída ao tanque, do peso específico dos produtos e da vazão derivada ao tanque.

Segundo Montag e Schneck (1998), para determinar o volume do tanque, precisamos conhecer:

- área a ser fertirrigada (ha);
- tipo de cultura;
- quantidade de fertilizante a ser aplicada por vez (Q, kg/ha);
- número de aplicações entre sucessivos abastecimento do tanque (n) ;
- solubilidade do fertilizante na água (sol., kg/m³).

Conhecendo-se estes parâmetros, o volume do tanque (m³) poderá ser obtido pela equação:

$$V = n \times Q$$

Onde:

- Q = quantidade de fertilizante a ser aplicada por vez (kg/ha);
- n = número de aplicações entre sucessivos abastecimentos do tanque.

Há quem aponte como limitação desse tipo de injeção, a variação da concentração dos produtos no interior do tanque com o tempo de aplicação. Trabalhos realizados por Zanini (1987) e Feitosa Filho (1990), comprovaram que no início da fertirrigação tem-se concentrações do produto mais elevadas no interior do tanque e, como está entrando água limpa, passando a diluir cada vez mais a solução, com o passar do tempo de fertirrigação, há uma redução brusca dessas concentrações.

Com relação à distribuição da solução ao longo das linhas laterais, Feitosa Filho et al. (1999) constataram que no início do tempo de fertirrigação, ocorre maior concentração da solução nos emissores situados no início das laterais e com o movimento da solução no interior desses tubos, a concentração diminui nos pontos próximos ao início das laterais. No tempo final da fertirrigação, há menor concentração nos emissores situados no início das laterais e maior concentração naqueles localizados no final. Essa inversão de concentração faz com que a quantidade de fertilizantes distribuída no solo no tempo total de fertirrigação seja, aproximadamente, a mesma ao longo das laterais.

Cálculo da concentração no tanque de derivação de fluxo

Allen et al. (1998) recomenda a fórmula seguinte para se determinar a concentração da solução do produto adicionado no tanque e que

permanece no seu interior em relação à quantidade inicial com fluxo de entrada e de saída constante:

$$C_t = C_o e^{-\frac{qt}{Vt}}$$

Onde:

C_t - concentração da solução no tanque após o tempo t , mg/L ou ppm;

C_o - concentração inicial da solução colocada no tanque, mg/L ou ppm;

e - base do logarítmo neperiano;

q - vazão derivada ao tanque, L/h;

t = tempo, h;

Vt - volume do tanque, L.

Ao se estabelecer uma relação entre o volume que deve passar pelo tanque em relação ao volume do tanque, a equação será simplificada para:

$$C_t = C_o e^{-x}$$

Segundo Allen et al. (1998), o valor de x na equação, normalmente, é tomado com valor igual a quatro e pode ser obtido também por:

$$x = \frac{-qt}{V_t}$$

Taxa derivada (L/min) = volume do tanque (L) x 4 dividido pelo tempo de fertirrigação (min). Ex.: volume do tanque - 100 L e tempo de duração da fertirrigação - 40 min. A taxa de água derivada ao tanque será:

$$\text{taxa derivada ao tanque} = \frac{100 \times 4}{40 \text{ min}} = 10 \text{ l/min. ou } 600 \text{ l/h.}$$

Cálculo do tempo de concentração no tanque de derivação de fluxo

Para se calcular o tempo que a solução atinge determinada concentração no tanque, pode ser utilizada a seguinte fórmula:

$$t = 2,303 \left[\log \left(\frac{C_o}{C_t} \right) \right] X^{-1}$$

Onde:

t - tempo para a solução atingir determinada concentração no tanque.

log - base do logaritmo decimal.

X = 4

Shani (1983) comenta que este tipo de injetor é o mais utilizado em todo o mundo, devido ao seu baixo custo se comparado com os custos das bombas injetoras e, também, por ser de fácil construção e manuseio. Outra vantagem é que a vazão injetada na linha de irrigação não é muito influenciada por pequenas variações de pressão na tubulação, como ocorre com outros tipos de injetores.

Segundo Bisconer (1987) e San Juan (1985), um inconveniente desse tipo de injetor é a diminuição da concentração dos produtos no seu interior à medida que aumenta o tempo de aplicação. É necessário se determinar tempos de aplicações diferentes para se ter uma distribuição aproximadamente uniforme.

Outro inconveniente comentado por Kennedy (1984), citado por Zanini (1987), diz respeito às dificuldades de determinar e controlar a vazão que é derivada ao injetor por parte do produtor, que não está familiarizado com esse trabalho. A taxa de água derivada ao tanque constitui um parâmetro importante nos cálculos das dosagens utilizadas na fertirrigação. A Tabela 4 mostra os dados estabelecidos das concentrações de potássio com um tanque de derivação trabalhando com três tempos de fertirrigação (60, 90 e 120 min e vazões derivadas ao tanque de 214 L/h, 143 L/h e 107 L/h, respectivamente).

Como exemplo de cálculo de cada instante apresentado na Tabela 4, tem-se, para o penúltimo instante do tempo de fertirrigação de 60 min, o seguinte:

$$t_{34,4} = 2,303 \times \log \frac{2963,0}{293,3} \times 4^{-1} \times 60 = 34,7 \text{ min.}$$

Tanto Feitosa Filho (1990) quanto Bonomo (1995) observaram que a variação da concentração do fertilizante no tanque seguiu um modelo exponencial com redução brusca no início da aplicação e menos acentuada no final da fertirrigação.

Tabela 4. Instantes calculados para coleta das amostras no tanque com o sistema operando com diferentes tempos de fertirrigação e vazões derivadas ao tanque.

| Concentração relativa no tanque (%) | Concentração (ppm) | Tempo de coleta | | |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | T = 60 min Q = 214 l/h | T = 90 min Q = 143 l/h | T = 120 min Q = 107 l/h |
| 100,0 | 2963,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 90,0 | 2666,7 | 1,6 | 2,4 | 3,2 |
| 80,0 | 2370,4 | 3,35 | 5,0 | 6,7 |
| 70,0 | 2074,1 | 5,35 | 8,0 | 10,7 |
| 60,0 | 1777,8 | 7,7 | 11,5 | 15,3 |
| 50,0 | 1481,5 | 10,4 | 15,6 | 20,8 |
| 40,0 | 1185,2 | 13,7 | 20,6 | 27,5 |
| 30,0 | 888,9 | 18,1 | 27,1 | 36,1 |
| 20,0 | 592,6 | 24,1 | 36,2 | 48,3 |
| 10,0 | 296,3 | 34,7 | 51,8 | 69,1 |
| 1,83 | 54,2 | 60,0 | 90,0 | 120,0 |

Fonte: Feitosa Filho (1990).

Injetor tipo Venturi

O injetor de fertilizantes tipo Venturi é uma peça confeccionada em PVC rígido (Fig. 11). O funcionamento deste equipamento está fundamentado no aumento da velocidade da água no ponto de interligação entre os dois cones, resultando numa força que succiona a solução de fertilizantes e pode aumentar com a velocidade da água no referido ponto de interligação (Fig. 12).

As vantagens desse tipo de injetor são: simplicidade de operação, baixo custo e eficiência de aplicação.

Moorhead (1998) cita como vantagens do injetor tipo Venturi:

- fácil manutenção;
- possibilidade de uso com pequena taxa de injeção;
- a taxa de injeção pode ser ajustada com controle apenas de registros, e
- possibilidade de uso com diferentes tipos de produtos na Quimigação.

Como limitação desse tipo de injetor, citam-se as altas perdas de carga, em torno de 20% a 30% da pressão de serviço, sendo mais acentuadas quando instalado em série na tubulação do sistema de irrigação (SHANI, 1983). Para diminuir essas perdas de carga, recomenda-se fazer a instalação do injetor em paralelo (FEITOSA FILHO, 1998).

Outra limitação, citada por Ferreira (1994) e comprovada por Feitosa Filho (1998), diz respeito ao reduzido limite operacional de cada injetor para determinada pressão de serviço e de diferencial de pressão.

Moorhead (1998) cita como desvantagens do injetor Venturi os seguintes aspectos:

- possibilidade de perda de pressão na linha principal do sistema de irrigação;
- os cálculos quantitativos dos fertilizantes podem ser difíceis para o produtor.

O limite operacional inviabiliza a utilização do injetor em condições hidráulicas diferentes daquelas estabelecidas e projetadas para a construção de determinado injetor.

A injeção de fertilizante na rede com o uso de injetor tipo Venturi, necessita de uma pressão mínima da ordem de 150 kPa. A vazão mínima que deve passar através do "Venturi" depende de sua capacidade e varia de 1 m³/h, para os modelos de 1", a mais de 20 m³/h, para Venturi de 2" de alta capacidade de sucção.



Fig. 3. Injetores tipo Venturi.

Este tipo de injetor introduz a solução de fertilizantes com vazão constante na tubulação principal. O valor da vazão do injetor geralmente é informado pelo fabricante. Salientando-se que o valor da capacidade de sucção do Venturi indicado pelo fabricante se refere à água pura, esta capacidade se reduzirá à medida que a densidade da solução fertilizante aumentar.

A maior vantagem destes injetores de fertilizantes é a simplicidade do dispositivo, bem como seu preço, manutenção e durabilidade, além de não necessitarem de 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, dependendo do modelo.

Entretanto, existem soluções alternativas para contornar essa limitação, escolhendo-se o esquema de instalação mais adequado dentre as três formas: instalação do injetor diretamente na linha de irrigação (Fig. 4); instalação por meio de uma derivação tipo "by pass" (Fig. 5) e instalação do injetor com uma bomba auxiliar, denominada bomba buster.

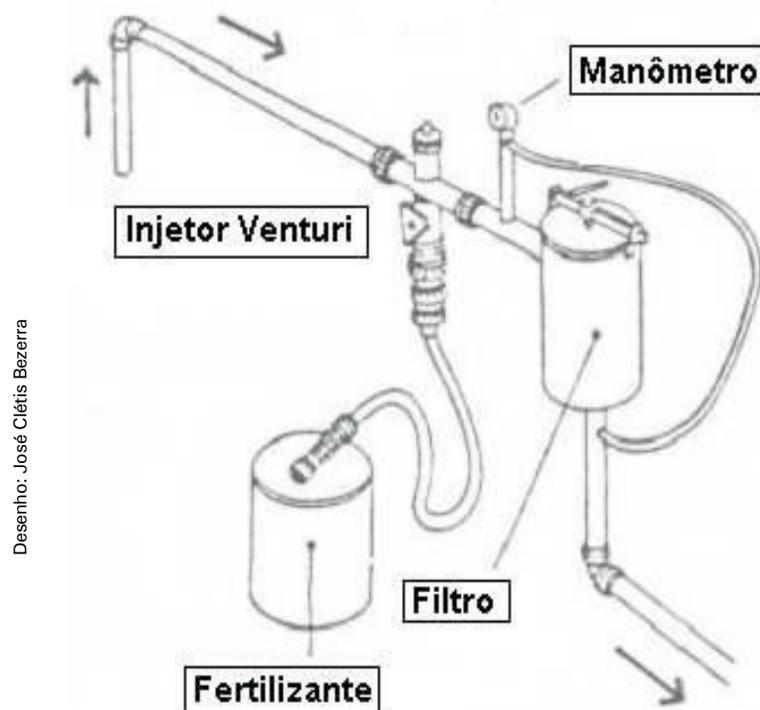


Fig. 4. Instalação de injetor Venturi na linha de irrigação.

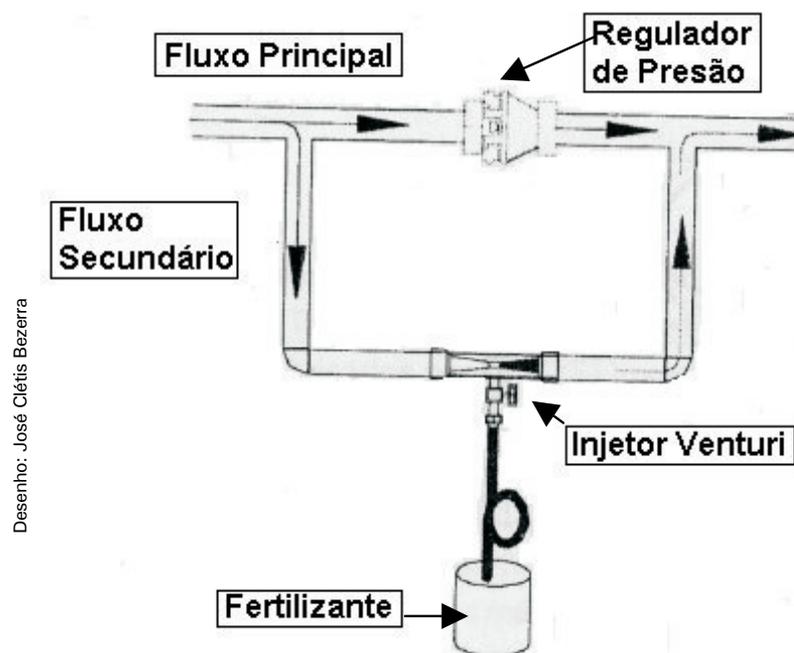


Fig. 5. Instalação do Venturi em "by pass".

A instalação diretamente na linha de irrigação, dependendo das condições hidráulicas existentes, pode ser inviável em função das elevadas perdas de carga. Normalmente, quando instalado na linha principal, o Venturi é de difícil regulagem, porque a taxa de injeção é muito sensível à variação de pressão.

Esse esquema permite, ainda, o benefício adicional de possibilitar a instalação de um Venturi de baixa capacidade de injeção (pequeno diâmetro) em uma tubulação de irrigação de elevado diâmetro. Contudo, ainda é necessário que seja efetuada uma pequena perda de carga com a instalação de um registro na linha de irrigação, para desviar parte do fluxo de água para o Venturi.

A instalação do Venturi em um esquema "by pass" (Fig. 5) a partir da linha de irrigação, utilizando uma tubulação de menor diâmetro, reduz a perda de carga localizada e facilita a operação de injeção.

Quando uma bomba auxiliar é instalada para proporcionar o diferencial de pressão necessário para injeção do fertilizante através do Venturi, tem-se como desvantagem o custo mais elevado de instalação do sistema. Em muitos casos, quando se quer evitar grandes perdas de carga, instala-se um pequeno equipamento de bombeamento antes do Venturi (Fig. 6).

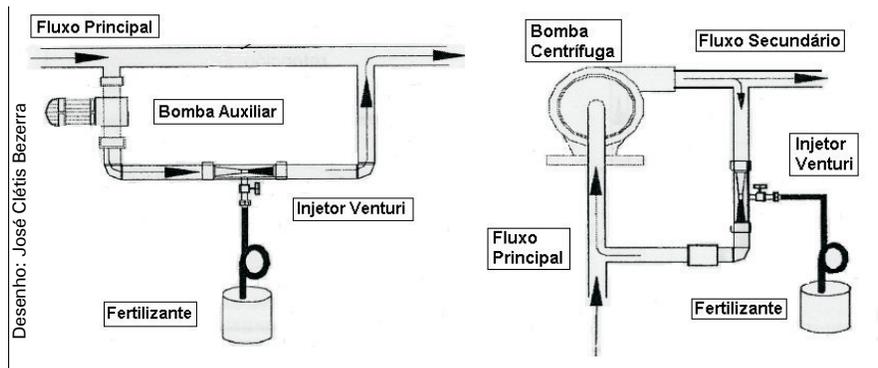


Fig. 6. Instalação de Venturi utilizando bomba auxiliar.

Injetor elétrico de fertilizantes

As bombas injetoras com motor elétrico estão muito desenvolvidas porque são utilizadas não apenas para a injeção de fertilizantes, mas, também, nos tratamentos de águas, na indústria petroquímica, nas agriculturas orgânica e inorgânica. Nos modelos mais usados, a pressão de injeção varia entre 4 kg e 12 kg e os volumes injetados variam entre 1 L/h e 1.500 L/h.

A vazão real é praticamente igual à teórica, desde que rendimento volumétrico seja próximo a 100%.

Para modificar a vazão, pode-se variar a velocidade do pistão ou o número 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. As bombas injetoras são definidas por sua vazão nominal e a regulagem se estabelece como uma porcentagem dela, geralmente entre 10% e 100%.

Fatores que contribuem para a eficiência da fertirrigação

Compatibilidade entre os produtos utilizados na fertirrigação

Nem todos os fertilizantes são compatíveis e podem ser aplicados juntos via água de irrigação. Por exemplo, a mistura de sulfato de amônia e cloreto de potássio reduz significativamente a solubilidade do fertilizante no tanque. A aplicação de cálcio na água rica em bicarbonato forma precipitados de gesso que causam a obstrução do emissores do sistema de irrigação e dos filtros. A injeção do cloreto de potássio aumenta a salinidade da água de irrigação e pode levar a problemas de intoxicação das culturas (MONTAG; SCHNECK, 1998).

A compatibilidade entre os adubos e entre estes e os íons presentes na água de irrigação é outro fator de importância. O ânion sulfato é incompatível com o cálcio e os fosfatos com o cálcio e o magnésio. Para facilitar a escolha dos produtos que podem ser misturados para aplicação via fertirrigação, há tabelas que facilitam as decisões (Tabela 5).

Tabela 5. Compatibilidade entre fertilizantes solúveis na água de irrigação

| Fertilizantes solúveis | Uréia | NA | SA | NC | MAP | MKP | NP | NP + Mg | NP + P | M + Mg | SP |
|---------------------------|-------|----|----|----|-----|-----|----|---------|--------|--------|----|
| Uréia | | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
| Nitrato de Amônia | C | - | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
| Sulfato de Amônia | C | C | - | L | C | C | L | L | C | C | C |
| Nitrato de Cálcio | C | C | L | - | X | X | C | X | X | C | L |
| Fosfato monoamônico (MAP) | C | C | C | X | - | C | C | L | C | X | C |
| Fosfato monopotássio | C | C | C | X | C | - | C | L | C | X | C |
| Multi-K (NP) | C | C | L | C | C | C | - | C | C | C | C |
| Multi-K + Mg | C | C | L | X | L | L | C | - | X | C | C |
| Multi- NPK | C | C | C | X | C | C | C | X | - | X | C |
| Magnisal (N + Mg) | C | C | C | C | X | X | C | C | X | - | C |
| Sulfato de Potássio | C | C | C | L | C | C | C | C | C | C | - |

C - Compatíveis; L - Compatibilidade limitada; X - Incompatíveis.

Fonte: Montag e Schneck (1998).

Parcelamento dos produtos na água de irrigação

Algumas pesquisas constataram que, quando se aumenta o parcelamento da adubação nitrogenada na água de irrigação, aumenta-se, também, a eficiência dos adubos e diminui-se as perdas por volatilização e lixiviação. Costa et al. (1994) recomendam que o parcelamento dos fertilizantes nitrogenados seja feito em quatro, seis ou até oito vezes durante o ciclo das culturas.

Trabalhos conduzidos por Alves et. al. (1992), citados por Costa et al. (1994), comparando cinco métodos de aplicação de uréia diretamente no solo por meio de técnicas convencionais de adubação e via água de irrigação na cultura do milho plantado em dois latossolos, verificaram que a dosagem de 120 kg de N/ha aplicados pelo método tradicional, resultou em produção de grãos semelhante àquelas obtidas com a ureia aplicada via água de irrigação, com parcelamento em duas, quatro ou seis vezes. Conseqüentemente, deve-se aumentar o número de aplicações. Há um consenso entre os autores de que para solos de textura arenosa e sujeitos a chuvas de alta intensidade, o parcelamento sendo maior permite o controle de riscos de perdas dos adubos devido à lixiviação, pois as quantidades aplicadas por vez serão menores e haverá maior eficiência dos adubos e segurança com a fertirrigação.

Tempo de aplicação da solução em relação ao tempo de irrigação

O tempo que deve ser aplicado o produto em relação ao tempo de irrigação é outro aspecto importante na fertirrigação. Esse tempo não deve ser muito pequeno, para que o produto tenha condições de ser bem distribuído no solo e nas culturas.

Keller e Karmeli (1975) recomendam tempos de aplicações entre 1 h e 2 h, sempre considerando um tempo antes e após a fertirrigação, em torno de 30 min e 60 min, respectivamente, com o sistema trabalhando apenas com água limpa para lavagem de todo o sistema de irrigação. Conhecendo-se a vazão que passa na tubulação de irrigação e a taxa de injeção do injetor, o tempo de aplicação pode ser facilmente determinado. Para isso, é preciso que se conheça a concentração desejada dos produtos na tubulação de irrigação.

Uniformidade de distribuição da solução na água de irrigação

A uniformidade de distribuição do produto na água e/ou no solo está diretamente relacionada com a própria uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação. Sistemas de irrigação que não apresentam boa uniformidade de distribuição de água, conseqüentemente não apresentam boa uniformidade de distribuição da solução.

Feitosa Filho (1990) trabalhou com dois injetores tipo tanque de derivação de fluxo e injetor tipo Venturi num sistema de irrigação por microaspersão. Encontrou uniformidade de distribuição da solução nas linhas laterais de 94% para o segundo injetor. Com o tanque de derivação, as concentrações da solução no início das linhas laterais, no início das aplicações, foram maiores do que as concentrações nos emissores localizados no final das linhas laterais. Já no final do tempo de fertirrigação, aconteceu o contrário. Essa inversão dos valores das concentrações ao longo das laterais durante o tempo de fertirrigação proporcionou quantidades aplicadas dos produtos no solo aproximadamente iguais ao longo das linhas laterais.

Fatores relacionados à relação custo/benefício da fertirrigação

Não somente a fertirrigação, mas qualquer atividade agrícola, deverá ser devidamente planejada e avaliada para se ter certeza se as vantagens justificam os investimentos de implantação. Com relação aos custos para se fazer a fertirrigação, não se tem conhecimento de trabalhos realizados no Brasil que compararam esse aspecto em relação aos métodos convencionais de adubação. O trabalho mais completo que enfoca esse assunto é o de Threadgill (1985), (Tabelas 6 e 7), que dão ideia da relação custo/benefício da quimigação. Esse trabalho é de muita importância, mas não informa qual a cultura trabalhada, aspectos relacionados ao tipo de solo e outros detalhes que ajudariam a tirar melhores conclusões dos dados apresentados.

Tabela 6. Custos (dólares/ha) de uma aplicação de produtos químicos pela fertirrigação.

| Produtos químicos | Convencionais | Fertirrigação | Água aplicada (mm) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------------|
| Fertilizantes | 6,20 | 13,06 | 10 |
| Herbicidas | 14,00 | 13,06 | 10 |
| Inseticidas | 5,60 | 9,84 | 3 |
| Fungicidas | 5,60 | 9,84 | 3 |
| Nematicidas | 14,00 | 13,06 | 10 |

Fonte: Threadgill (1985).

Tabela 7. Custos comparativos da fertirrigação x métodos convencionais (dólares/ha)

| Aplicação | Fertirrigação | | | Convencional | Economia |
|-----------------|---------------|----------------|-------------|--------------|----------|
| | Custo fixo | Custo variável | Custo total | Custo total | |
| 1F | 8,56 | 4,50 | 13,06 | 6,20 | -6,86 |
| 1F; 1H | 4,28 | 9,00 | 13,28 | 20,20 | 6,92 |
| 2F; 1H | 2,85 | 13,50 | 16,35 | 26,40 | 10,05 |
| 2F; 1H; 1I | 2,14 | 14,78 | 16,92 | 32,00 | 15,08 |
| 2F; 1H; 1I; 1Fg | 1,71 | 16,06 | 17,77 | 37,60 | 19,83 |
| 2F; 1H; 2I; 1Fg | 1,43 | 17,34 | 18,77 | 43,20 | 24,43 |
| 2F; 1H; 4I | 1,22 | 18,62 | 19,84 | 48,80 | 28,96 |
| 3F; 1H; 4I | 1,07 | 23,12 | 24,19 | 55,00 | 30,81 |
| 3F; 2H; 2I; 4Fg | 0,95 | 27,62 | 28,57 | 69,00 | 40,43 |
| 3F; 2H; 5I | 0,86 | 28,90 | 29,76 | 74,60 | 44,84 |

F = Fertirrigação; H = Herbificação; I = Insetificação e Fg = Fungificação.

Fonte: Threadgill (1985).

Nos dados da Tabela 6, considerou-se que o preço da aplicação com trator e avião com base no custo operacional de um pivô central para 61 ha, com custo fixo da irrigação mais o custo fixo anual do equipamento de fertirrigação.

Pesquisas têm demonstrado que a prática da fertirrigação proporciona aumento na produtividade das culturas em relação aos métodos convencionais de adubação, desde que devidamente executada. Outros trabalhos, porém, não obtiveram aumento nas produtividades. Sobre essa última constatação, há de se considerar que mesmo obtendo-se a mesma produtividade ou até produtividade inferior àquelas obtidas com adubação

com os métodos tradicionais, deve-se considerar que com a fertirrigação, há menor custo com mão-de-obra e menor consumo e desperdício dos produtos utilizados. A avaliação do custo com a fertirrigação é um aspecto que precisa ser estudado com diferentes culturas, sistemas de irrigação, diferentes solos, água, clima e meio ambiente.

Corrosão dos produtos utilizados na fertirrigação

Os problemas de corrosão, tanto do injetor quanto do sistema de irrigação, constituem aspecto que merece ser avaliado na fertirrigação, pois o custo dos instrumentos é relativamente alto e o uso de determinado produto pode reduzir a vida útil dos instrumentos e inviabilizar a prática. Cada equipamento apresenta maior ou menor capacidade de sofrer corrosão, dependendo do tipo de material utilizado para sua fabricação e do produto utilizado na quimificação.

A Tabela 8 apresenta uma lista de produtos testados por Martin, em 1953, citado por Burt et al. (1995), que facilita identificar e quantificar o perigo de corrosão na fertirrigação.

Tabela 8. Corrosão relativa de vários metais, após quatro dias de imersão em soluções de fertilizantes comerciais com concentração de 120 g/l de água.

| Metal | Produto * | | | | | | | |
|-------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| Ferro galvanizado | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 4 | 1 | 2 |
| Alumínio | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| Aço inoxidável | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Bronze | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| Latão | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| PH | 5,6 | 8,6 | 5,9 | 5,0 | 7,6 | 4,0 | 8,0 | 7,1 |

*Identificação dos produtos: A = Nitrato de Cálcio; B Nitrato de Sódio; C = Nitrato de Amônio; D = Sulfato de Amônio; E = Uréia; F = Ácido Fosfórico; G = DAP; H = Solução 17-10-10.

Escala de corrosão: 0 = nula; 1 = baixa; 2 = moderada; 3 = severa; 4 = muito severa.

Fonte: Burt et al. (1995).

Fatores relacionados à contaminação do meio ambiente

Em razão de a quimigação utilizar produtos tóxicos, é de se esperar que se não forem manuseados corretamente, pode-se ter o risco da contaminação do homem, de fontes de água, do solo e de demais componentes ambientais.

Para Viana (1994), a quimigação é considerada segura para os operadores, porém, se houver uma parada imprevista do sistema de irrigação, há possibilidade de retorno da solução que estava na tubulação, podendo alcançar a fonte de água. Esses riscos tornam-se cada vez maiores se o sistema de injeção utilizado trabalhar com pressão efetiva negativa, a exemplo do injetor tipo Venturi e sucção pela própria tubulação de sucção da motobomba do sistema de irrigação.

Componentes do cabeçal de controle

Para fazer a fertirrigação, é necessário que o sistema de irrigação possua os seguintes componentes:

- tanques e injetores dos produtos na água de irrigação;
- agitadores manuais, mecânicos ou hidráulicos da solução;
- tanque de calibração para avaliar o volume aplicado e a ser aplicado;
- válvulas de controle de refluxo para evitar contaminação da fonte de água;
- filtros de areia e de telas, e
- acessórios para facilitar o manejo e cálculos dos produtos a serem aplicados.

Automação e medidas de segurança na quimigação

Automação do sistema de injeção

Ano a ano, surgem equipamentos mais sofisticados, com a finalidade de fazer da quimigação uma prática mais eficiente e segura. Sistemas computadorizados operando com série de produtos separados já permitem que cada produto seja aplicado separadamente, de acordo com a necessidade de cada cultura. A automação, além de minimizar as perdas dos produtos e reduzir a mão-de-obra, evita o contato do homem com os produtos e melhora a sua eficácia.

Medidas de segurança do sistema de injeção

Como a maioria dos produtos químicos utilizados na quimigação são produtos perigosos para o homem e o ambiente, necessitam de cuidados especiais daqueles que estão manuseando o sistema de injeção. Nos cultivos irrigados tecnificados, existem equipamentos como registros e válvulas de controle para evitar o refluxo desses produtos para a fonte supridora de água, os quais já são utilizados e recomendados. Como todo equipamento mecânico pode parar de funcionar a qualquer momento, dispositivos de segurança são imprescindíveis para se evitar riscos e contaminação do ambiente com os produtos utilizados.

Exemplos de cálculo na quimigação

Os cálculos das quantidades dos produtos a serem aplicados na fertirrigação são um dos aspectos mais importantes dessa prática. Dosagens excessivas podem ocasionar problemas de toxidez de plantas e salinização do solo.

Muitos produtores que imaginam estar fazendo a fertirrigação, às vezes, estão colocando produtos a mais ou a menos no solo ou na água, o que pode contribuir para a contaminação ambiental, para a toxicidade das culturas ou para o desperdício dos produtos.

Os cálculos recomendados para a quimigação 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, análise foliar e considerando a dosagem mais econômica para cada espécie cultivada. Conhecendo-se a fórmula comercial com os níveis 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.

Critérios para selecionar o equipamentos de fertirrigação

Os critérios de seleção para equipamentos que serão empregados na fertirrigação devem partir do planejamento da fertirrigação em si, do cálculo da capacidade do tanque para preparo da mistura, da capacidade do sistema de injeção e do tipo de injetor para o sistema de irrigação que será utilizado.

Exemplo 1:

Pela análise do solo, os valores recomendados foram: 400 kg/ha de N; 140 kg/ha de P_2O_5 e 250 kg/ha de K_2O . Dispõe-se dos seguintes produtos:

- Fosfato diamônio: 21- 53 - 0;
- Nitrato de Potássio: 13-0-46, e
- Ureia: 46-0 -0.

a) Considerando o cálculo da dosagem do fósforo, tem-se:

Fosfato Diamônio: $140/0,53 = 264$ kg.

Essa quantidade de fosfato diamônio apresenta em relação a N:

$264 \text{ kg} \times 0,21 = 55$ kg de N.

b) Em seguida, considerando o potássio, tem-se:

Nitrato de Potássio: $250/0,46 = 544$ kg.

Essa quantidade de nitrato de potássio contém:

$544 \times 0,13 = 71$ kg de N.

c) Calculando-se a quantidade de N e deduzindo-se os valores já acrescentados pelos produtos anteriores, tem-se:

400 kg - 55 kg - 71 kg = 274 kg.

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

100 kg uréia 46 kg N

X 274

$X = (100 \times 274)/0,46$ $X = 496$ kg ureia.

Exemplo 2:

Um cultivo de alface plantado em canteiros de 1,20 m x 30 m (largura e comprimento, respectivamente), com espaçamento das mudas de 0,30 m x 0,25 m. Há um total de 200 canteiros na área, que serão irrigados por gotejamento com quatro laterais distribuídas ao lado das plantas. O espaçamento dos emissores será de 0,50 m trabalhando com vazão média de 0,6 L de água/h por emissor. Como fonte de nitrogênio, será utilizada a ureia, que possui 46% de N. Como fonte supridora do fósforo, deverá ser utilizado o superfosfato simples, que possui 20% de P_2O_5 . O cloreto de potássio, que possui 60% de K_2O , será utilizado como fonte de potássio.

Todo o fósforo deverá ser aplicado em fundação, incorporado no solo. Já o potássio e o nitrogênio devem ser divididos em oito aplicações, que serão feitas em semanas alternadas, quinze dias após o plantio das mudas no local definitivo. Os cálculos deverão ser feitos em função da análise do solo e da produtividade economicamente esperada que forneceu os resultados apresentados nas Tabelas 9 a 13.

Tabela 9. Limites de classe de teores de fósforo e potássio no solo.

| Teor | Produção relativa % | P resina $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ | K troc meq/100cm ³ |
|-------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Muito baixo | 0 - 70 | 0 - 6 | 0,00 - 0,07 |
| Baixo | 71 - 90 | 7 - 15 | 0,08 - 0,15 |
| Médio | 91 - 100 | 16 - 40 | 0,16 - 0,30 |
| Alto | 100 | 41 - 80 | 0,31 - 0,60 |
| Muito alto | 100 | > 80 | > 0,60 |

Fonte: Rajj (1995).

Tabela 10. Limites de teores de magnésio no solo.

| Teor | Mg trocável (meq/100cm ³) |
|-------|---------------------------------------|
| Baixo | < 0,4 |
| Médio | 0,5 - 0,8 |
| Alto | > 0,8 |

Fonte: Rajj (1995).

Tabela 11. Resultado da análise do solo da área a ser cultivada.

| Produtividade (cm) | H ⁺ + Al ³⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SB | CCT | V |
|--------------------|--|----------------|------------------|------------------|----|-----|-----|
| | (mmol _c .dm ⁻³) | | | | | | (%) |
| 0 - 15 | 21 | 1,9 | 14 | 6 | 18 | 38 | 48 |
| 16 - 30 | 24 | 1,7 | 13 | 4 | 20 | 40 | 46 |

Tabela 12. Resultados da análise do solo da área a ser cultivada.

| Produtividade (cm) | pH (CaCl ₂) | M.O (g/dm ³) | P (mg/dm ³) |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 0 - 15 | 4,9 | 16 | 32 |
| 16 - 30 | 4,7 | 13 | 30 |

Raij et al. (1996) recomendam, para a cultura da alface, os dados da Tabela a seguir.

Tabela 13. Recomendação mineral de plantio para a cultura da alface de acordo com a análise de solo.

| Nitrogênio N, kg/h | P resina mg/dm ³ | | | K ¹ Trocável, mmolc/dm ³ | | |
|-----------------------|---------------------------------------|---------|------|--|-----------|-------|
| | 0 - 25 | 26 - 60 | > 60 | 0 - 1,5 | 1,6 - 3,0 | > 3,0 |
| | P ₂ O ₅ , kg/ha | | | K ₂ O, kg/ha | | |
| 40 | 400 | 300 | 200 | 150 | 100 | 50 |

Fonte: Raij et al. (1996).

Os adubos minerais devem ser misturados no solo juntamente com o adubo orgânico (60 kg/ha a 90 kg/ha de esterco de curral e 15 t/ha de esterco de galinha), pelo menos 10 dias antes da semeadura ou do transplântio das mudas. Na adubação de cobertura, recomenda-se adicionar 60 kg/ha a 90 kg/ha parcelado em três vezes, aos 10, 20 e 30 dias após o transplântio das mudas (RAIJ et al. 1996).

Cálculo da solução para fertirrigação

Não considerando, inicialmente, a adubação orgânica como fonte de N e considerando o teor P no solo de 32 mg/dm³ e o teor de K de 1,8 mmolc/dm³, recomenda-se, para uma área de 1ha (10.000 m²), a aplicação de 120 kg/ha de N, 300 kg/ha de P₂O₅ e 100 kg/h de K₂O.

canteiros irrigados por vez/parcela com área útil de 1800 m². Definindo-se que todo o fósforo e 1/3 do nitrogênio, juntamente com 1/3 do potássio, serão aplicados a lanço e incorporados no solo durante a fundação e os 2/3 restantes desses dois últimos adubos serão divididos em 8 ou mais aplicações via fertirrigação por parcela irrigada por vez:

a) Para a ureia:

$$7.200 \text{ m}^2 \quad \textcircled{R} \quad 188 \text{ kg de ureia}$$

$$1.800 \text{ m}^2 \quad \textcircled{R} \quad y$$

$$y = 47 \text{ kg de ureia.}$$

A quantidade de 2/3 correspondente à fertirrigação será de 31,3 kg de uréia, que, dividida em 8 fertirrigações, dará **3,91 kg de ureia** aplicados em cada parcela de 50 canteiros.

a) Para o cloreto de potássio:

$$7.200 \text{ m}^2 \quad \textcircled{R} \quad 120 \text{ kg de cloreto de potássio}$$

$$1.800 \text{ m}^2 \quad \textcircled{R} \quad y \quad \backslash$$

$$y = 30 \text{ kg de cloreto de potássio.}$$

A quantidade de 2/3 a ser feita via fertirrigação corresponderá a 20,0 kg de cloreto de potássio, que dividida em 8 fertirrigações, dará 2,50 kg a serem aplicados em cada parcela de 50 canteiros/vez. Cálculos semelhantes serão feitos para os demais nutrientes ou caso haja o aumento do número de fertirrigações ou a diminuição da área fertirrigada/vez se houver um aumento na divisão da área em um número maior de parcelas. Caso a água possua teores naturais de N e de K e de outros elementos, deverão ser quantificadas essas concentrações e esses teores deverão ser deduzidos das quantidades calculadas e recomendadas pela análise do solo, a fim de evitar uma possível super dosagem dos elementos na água de irrigação.

Exemplo 3:

Trabalhando-se com um tanque de derivação de 60 L, deseja-se, no final da fertirrigação, uma concentração correspondente a 1,83% da

concentração inicial de 228,75 ppm. A quantidade de nitrogênio natural na água de irrigação é de 15 ppm.

Pergunta-se: qual deverá ser a quantidade de ureia a ser colocada inicialmente no tanque e qual será o tempo necessário para atingir esta concentração no tanque?

Solução:

a) Cálculo da concentração inicial no tanque:

Sendo a concentração de 228,75 ppm correspondente a 1,83% da concentração inicial, esta será de:

$$C_1 = \frac{100 \times 228,75}{1,83} = 12.500 \text{ ppm}$$

b) Cálculo do tempo de aplicação:

Para haver, no tanque de derivação, uma concentração final correspondente a 1,83% da concentração inicial, deve passar pelo tanque um volume de água correspondente a quatro vezes o volume do tanque.

O tempo para fazer a fertirrigação poderá ser obtido utilizando a equação:

$$T_f = \frac{-Vt}{q} \ln \left(\frac{C_t}{C_o} \right)$$

$$T_t = \frac{-60}{240} \ln \left(\frac{228,75}{12500} \right) = 1,0 \text{ hora.}$$

c) Quantidade de N e de uréia a ser colocada no tanque no início da aplicação:

$$Q_N = V_t 10^{-3} \times C_t 10^{-6} \quad \backslash$$

$$Q_N = 60 \times 10^{-3} \times (12500 \text{ ppm} - 15 \text{ ppm}) \times 10^{-6} \quad Q_N = 749,1 \text{ g de N}$$

A quantidade de ureia contendo 46% de N será: $749,1/0,46 = 1630 \text{ g de uréia}$.

Exemplo 4:

Calcular o volume mínimo de um tanque para o preparo de uma solução contendo potássio para atender às seguintes condições:

- quantidade de potássio requerido na análise: 35 kg de KCl/ha.
- área a ser fertirrigada: 0,25 ha;
- concentração do potássio no produto inicial: 60%;
- concentração inicial da solução no tanque: 7000 ppm.

$$V_{\text{tanque}} \geq \frac{35 \times 0,25 \times 0,60}{0,0070} \rightarrow V_{\text{tanque}} \geq 750 \text{ litros.}$$

Exemplo 5:

Uma área de 4,0 ha deverá ser plantada com banana espaçada de 3,0 m x 2,5 m e irrigada por gotejamento, pretendendo-se utilizar, no sistema de irrigação, dois emissores por cova, com vazão média dos emissores de 0,8 L/h. O sistema de irrigação funcionará 12 h/dia em dois turnos de 6 horas. Planeja-se realizar a fertirrigação num tempo de 4,0 horas para cada tempo de irrigação. A análise do solo recomendou uma dosagem de 0,15 kg de N/cova. Existe na água de irrigação, em condições naturais, uma concentração de 12,5 ppm de N. Considerando uma eficiência do sistema de irrigação de 90% e o volume da solução fertirrigada de 15% do volume total de irrigação e utilizando a uréia como fonte de N, pede-se:

- a) determinar a dose/ha e dose/emissor de N e de ureia para fertirrigação da área por vez e na área total cultivada;
- b) taxa de injeção do produto na água de irrigação;
- c) concentração de nitrogênio na água de irrigação e, caso a concentração na água seja maior que 600 ppm, fazer o respectivo ajuste;
- d) calcular as concentrações com uso do injetor tanque de derivação e injetor tipo Venturi;

e) para o segundo injetor, qual deverá ser a dimensão do tanque para o preparo da mistura, considerando que esse reservatório deverá ter um acréscimo de 15% do volume total previsto, e

f) qual deverá ser seu volume mínimo se for utilizado o tanque de derivação e qual a concentração inicial nele colocada, de modo que, no final do tempo de fertirrigação, se obtenha concentração de 1,83% da concentração inicial?

Solução:

a) Cálculo da dose recomendada por ha e por emissor:

$$n^{\circ} \text{ de plantas (covas) / ha} = \frac{10.000}{3,0 \times 2,5} = 1.333 \text{ covas / ha}$$

· dose de N/ha = (0,15g/cova x 1333 covas) @ 200 kg de N/ha.

· como a ureia possui 46% de N[®] (200 kg de N/0,46) = 435 kg de ureia/ha.

· total de uréia necessária para os 4,0 ha = 1740 kg.

b) Cálculo da taxa de injeção (q_i)

· como são 4,0 ha (2 dias x 2 turnos) = 1,0 ha/turno

$$q_i = \frac{435 \text{ kg ureia / ha} \times 1,0 \text{ ha / turno}}{1,33 \text{ kg / l} \times 4,0 \text{ horas}} = 81,77 \text{ L / h.}$$

c) Cálculo da concentração de nitrogênio na água de irrigação:

· vazão total de água/ha = 0,8 x 2 x 1333 covas = 2133 L/h

· vazão de água no sistema = 2133 L/h / 0,90 = 2370 L/h = 2,37 m³/h

· vazão da solução fertirrigada = 2370/0,15 = 356 L/h. = 0,356 m³/h

$$C_N = \frac{100 \times 435 \text{ kg de N / ha}}{0,356} = 122.191 \text{ mg / L}$$

(se aplicada de uma só vez)

d) Cálculo da taxa de injeção ajustada para a concentração:

Definindo-se as vazões numa mesma unidade, tem-se:

$$Q_{\text{agua}} = \frac{2,37 \times 1,0 \text{ha}}{4,0 \text{ horas}} = 5,92 \text{ m}^3 / \text{h} = 1,65 \text{ L/s.}$$

$$Q_{\text{fert}} = \frac{0,356 \times 1,0 \text{ha}}{4,0 \text{ horas}} = 0,89 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,247 \text{ L/s.}$$

$$q_{ij} = \frac{0,36 \times (600 \text{ ppm}) \times 1,65}{1,33 \times 46} = 5,82 \text{ L/h.}$$

Como foi determinado, inicialmente, a taxa de injeção deveria ser de 81,77 L/h, sendo dividido este valor pela taxa de injeção ajustada de 5,82 L/h, tem-se:

$$81,77 / 5,82 = 14 \text{ fertirrigações.}$$

Exemplo 6:

A vazão de um sistema de irrigação por gotejamento é de 45,5 m³/h, com uma concentração natural de N de 12 ppm. Deseja-se uma concentração de N na forma de ureia na água de irrigação que seja de 80 ppm. Calcular a quantidade de fertilizante sólido a ser colocada num tanque de 500 L, com o injetor tipo Venturi com vazão média de sucção de 400 L/h.

Dados:

q_1 - vazão do sistema de irrigação: 45,5 m³/h = 45500 L/h;

C_1 - concentração natural de N na água de irrigação: 12 ppm

q_2 - vazão do injetor: 400 L/h;

C_2 - concentração a ser colocada no tanque: ?

C_3 - concentração desejada na água de irrigação: 80 ppm;

q_3 - vazão do sistema de irrigação mais vazão do injetor: 45500 + 400 = 45900 L/h.

Solução:

a) Cálculo da concentração no tanque de mistura:

Pela equação da conservação da massa, tem-se:

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

$$C_2 = \frac{(q_3 \cdot C_3) - (q_1 \cdot C_1)}{q_2} = \frac{(45.900 \times 80) - (45.500 \times 12)}{400} = 7.815 \text{ ppm.}$$

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

$$Q_N = V_t \cdot C_t = (400 + 10\%) 10^3 \times 7830 \cdot 10^{-6} = 3445,2 \text{ g}$$

A água já possui 12 ppm de N, que corresponde a 5,28 g, devendo-se acrescentar no tanque apenas 3440g de N. A quantidade de ureia contendo 46% de N será:

$$\text{Uréia} = \frac{3440 \times 100}{46} = 7478 \text{ g} \cong 7,5 \text{ kg}$$

Exemplo 7:

Calcular a vazão injetada de uma solução trabalhando com uma bomba injetora tipo pistão de dupla ação, cujo diâmetro do pistão propulsor é de 4 cm, com espaço percorrido pelo êmbolo no cilindro de 12 cm e trabalhando com 45 rpm.

Dados:

- diâmetro do pistão: 4 cm = 0,04 m
- rpm = 45 revoluções/min = 2700 rev./ hora
- curso do pistão = 12 cm = 0,12m.

Solução:

Pela fórmula :

$$Q = 2 \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2 \cdot e \cdot \frac{n}{60}$$

que, substituindo os valores fornecidos, se tem:

$$Q = 2 \frac{\pi 0,04^2}{4} \times 2 \times 0,12 \times \frac{2700}{60} = 0,027 \text{ m}^3 / \text{min} = 1,63 \text{ m}^3 / \text{h} = 1.629 \text{ L} / \text{h.}$$

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 de nutrientes na zona radicular da planta.

Para 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 pelo 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.

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação envolve três fases, sendo que na primeira, aplica-se somente água para o equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação e permitir maior uniformidade de distribuição dos fertilizantes; na segunda, faz-se a fertirrigação e, na terceira fase, aplica-se água para lavar o sistema de irrigação. Durante a segunda fase, o fertilizante é efetivamente aplicado, não devendo ser inferior a dez minutos. A terceira fase deve ser suficiente para lavar completamente o sistema de irrigação, para minimizar problemas de corrosão, entupimento de gotejadores e desenvolvimento de microorganismos no sistema e melhor incorporação do fertilizante na zona do sistema radicular. Esta recomendação, no entanto, deve ser tomada apenas como guia e não como regra geral, devendo ser ajustada para cada caso específico.

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. Em solos arenosos, a frequência da fertirrigação deve ser a mesma da irrigação.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 319 p. (Irrigation and drainage. Paper, 56).
- BISCONER, I. Chemigation: how irrigation lines can serve double duty. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 1, n. 1, p. 8-11, 1987.
- BONOMO, R. **Análise da validade da equação utilizada para estimar a variação da concentração de fertilizante no tanque de derivação, em fertirrigação**. 1995. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1995. 295 p.
- COSTA, E. F. da.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via água de irrigação**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 315 p.
- FEITOSA FILHO, J. C.; PINTO, J. M., ARRUDA, N. T. Dimensionamento, construção e características hidráulica de um injetor tipo Venturi para uso na uimigação. **Irriga**, Botucatu, v. 4. n. 2, p. 68-82, 1999.
- FEITOSA FILHO, J. C. **Otimização hidráulica e manejo de injetores tipo Venturi duplo para fins de quimigação**. 1998. 164 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FEITOSA FILHO, J. C. **Uniformidade de distribuição de fertilizantes via água de irrigação por microaspersão com uso dos injetores tipo Venturi e tanque de derivação**. 1990. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Viçosa de Viçosa, Viçosa, MG.
- FERREIRA, J. O. P. **Características hidráulicas de dois injetores de fertilizantes do tipo Venturi**. 1994. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

- HERNANDEZ ABREU, J. M.; RODRIGO LÓPEZ, J.; PÉREZ REGALADO, A. Fertilizadores tipo Venturi. In: CURSO INTERNACIONAL DE RIEGO LOCALIZADO, 1987, Tenerife. **El riego localizado**. Tenerife: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1987. p. 67-68.
- HOWEL, T. A.; FRESNO, C. A.; STEVENSON, D. S. Fertilizing and operation trough drip systems. In: JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1980. p. 711-717.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.
- MONTAG, G.; SCHNECK, C. **Horticultural fertigation-techniques, equipment and management**. Disponível em: <<http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/water/irrigation/crops/publications/fertigation#Fertilisers>>. Acesso em: 16 jun. 2008.
- MOORHEAD, M. E. Applying fertilizers in solution. **Better Crops With Plant Food**, Atlanta, v. 32, n. 6, p. 17-23, 1998.
- NATHAN, R. **La fertilizacion combinada con el riego-fertiriego**. Tel-Aviv: Ministerio de Agricultura de Israel, 1994. 55 p.
- PRIETO, V. G. Quimigação. **Agricultura de las Americas**, Overland Park, v. 34, n. 7, p. 42-44, jul., 1985.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. 343 p.
- RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, D. J. A.; FURLAN, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- ROSTON, D. E.; MILLER, R. J.; SCHUBACH, H. Management principles. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986, p. 317-45. (Developments in Agricultural Engineering, 9).

SAN JUAN, J. A. M. **Riego por goteo: teoria y práctica**. Madrid: Mundi-Prensa, 1985. 206 p.

SHANI, M. **La fertilizacion combinada com el riego**. Tel-Aviv: Ministério da Agricultura. 1983. 36 p.

TALENS, A. D. **Fertirrigacion**. Madrid: Mundi-Prensa. 1994. 217 p.

THREADGILL, E. D. Chemigation via sprinkler irrigation: current status and future development. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 1, n. 1, p.16-23, 1985.

VERMEIREN, L. **Riego localizado**. Roma: FAO, 1986. 203 p. il. (FAO. Riego y Drenaje, 36).

VIANA, P. A. Insetigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 249-268.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. **Fertilizantes líquidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 261-281.

ZANINI, J. R. **Hidráulica da fertirrigação por gotejamento utilizando tanque de derivação de fluxo e bomba injetora**. 1987. 103 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



CGPE 7929