

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO - MA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA
EMBRAPA SEMI-ÁRIDO**

FERTIRRIGAÇÃO

JOSÉ MARIA PINTO
Engenheiro Agrícola
José Crispiniano Feitosa Filho
CCA – UFPB – Areia PB

Petrolina - PE, 2008.

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, etc., simultaneamente com a água de irrigação; prática conhecida atualmente, como “quimigação”.

Embora o termo quimigação seja relativamente novo, a idéia de se utilizar o sistema de irrigação como condutor de agroquímicos já vem desde o início dos anos 40 e ano a ano, essa técnica vêm sendo aprimorada e utilizada nos países que utilizam a irrigação mais tecnicada 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. Threadgill (1985) cita que pelo menos uma vez por ano, aproximadamente 4,3 milhões de hectares são cultivados nos EUA utilizando essa prática. O crescimento anual da fertirrigação naquele país está em torno de 8 a 9%, o que mostra 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 através 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 junto com a água, porém, a uniformidade de distribuição naqueles que conduzem a água em tubulações fechadas e pressurizada são 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 e quantidade exata requerida pelas plantas;
- menor necessidade de mão-de-obra para se fazer as adubações pois aproveita praticamente o mesmo trabalho requeridos para se fazer as irrigações;
- menor compactação com redução de tráfego de máquinas dentro da área como acontece nos métodos tradicionais de adubação;
- menos danos físico 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 das 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 por ventura venham surgir dá-se em razão de não se observar os aspectos técnicos relacionados à nutrição de plantas, química e a física de solo, a fisiologia vegetal, água, clima e a própria prática da irrigação. Como limitações têm-se:

- 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 aos 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. Esses fatores podem ter maior ou menor importância dependendo de cada uso. Os fatores são:

- os diferentes tipos de adubos utilizados na fertirrigação;
- fatores relacionados à nutrição das plantas;
- ao tipo de solo;
- à qualidade da água de irrigação;
- às espécie de plantas;
- ao tipo de injetor utilizado no sistema de irrigação;
- à relação custo/benefício;
- à corrosão dos produtos;
- à contaminação do meio ambiente;
- outros fatores (compatibilidade entre os produtos; posição do injetor no sistema; concentração, taxa de injeção; parcelamento; tempo de aplicação; quantidade e uniformidade de aplicação dos produtos na água de irrigação).

FATORES RELACIONADOS COM OS ADUBOS UTILIZADOS NA FERTIRRIGAÇÃO

Já é de conhecimento que, em relação às culturas, uma fonte de nutriente não é melhor que outra, porém as diferentes 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 diferentes 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 devem-se observar aspectos importantes tais 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 custo com a fertirrigação.

A solubilidade do produto é considerada um dos fatores mais importantes na fertirrigação, uma 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 solução 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, 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 são mais problemáticos para serem utilizados via fertirrigação. Embora existam alguns fertilizantes fosforados solúveis, como o fosfato de amônio, podem apresentar perigo de serem utilizados em água de irrigação com elevado teor em cálcio, devido a precipitação do fosfato de cálcio que é insolúvel, levando as obstruções de tubulações e emissores do sistema de irrigação.

A aplicação de produtos contendo o cálcio deve ser evitado em razão do 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 em 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 como fonte desse elemento.

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. 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 a possibilidade do aumento dos níveis de pH da água de irrigação de valores superiores a 11. Isso acontecendo poderá levar a rápida precipitação do CaCO_3 .

Quando o pH da água for maior do que 7,5, o Ca e Mg podem se acumular nos filtros, nas laterais e nos emissores do sistema de irrigação. Isso acontecendo, pode trazer riscos de obstruções das tubulações e dos emissores, principalmente quando o valor de saturação do carbonato de cálcio for maior do 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 contém nutrientes em suspensão ou em solução podendo fornecer um único elemento ou mais elementos. A amônia anidra foi o adubo líquido mas utilizado na fertirrigação. É um gás que em condições normais de temperatura e pressão, passa fácil para o estado líquido quando submetida à pressões elevadas ou às baixas temperaturas.

Montag & Schneck (1998) apresentam a Tabela 1 com os produtos mais recomendados para uso na fertirrigação com o 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	15,8MgO	2200	2400	2700
Sulfato de Potássio	0	-	0	41,5	50	0	80	100	110

FATORES RELACIONADOS ÀS PLANTAS

Nem toda espécie de planta necessita da mesma quantidade de água, de adubos e de condições ambientais para sobreviver adequadamente. Algumas são mais tolerantes a estresse e carência de nutrientes e tolerância 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
--------	-----	-----	----

Fonte: Vitti et al. (1994) ; T= tolerante; TN= tolerância normal; LS= levemente sensível e S = sensível.

A fertirrigação na cultura do meloeiro pode induzir incrementos significativos tanto na produtividade quanto na qualidade de frutos. Em termos práticos, o gotejamento sem aplicação de fertilizantes via água de irrigação, é pouco eficiente, resultando em pequeno incremento na produtividade. Na Tabela 3 são apresentados valores de distribuição percentual de alguns nutrientes para a cultura do melão.

Tabela 3. Distribuição percentual de nitrogênio, potássio, cálcio e fósforo a ser aplicada 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 nutriente (%)									
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

É preciso ter em mente que o sucesso da fertirrigação depende do bom planejamento e execução da irrigação. Irrigação 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 que variam de acordo com a forma de energia utilizada para seu funcionamento, seus custos e eficiência.

Howel et al. (1980) classificam os injetores de produtos químicos através da 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: DE GRAVIDADE INJEÇÃO POR GRAVIDADE

Esse método aproveita a energia de posição existente entre o reservatório contendo os fertilizantes e o nível que encontra-se 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 através da 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 trabalham com baixa pressão. O 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 através de um registro de abertura lenta instalado num ponto à montante da derivação ao reservatório.

BOMBA CENTRIFUGAS

Burt et al. (1995) referindo-se a esse tipo de bomba afirmam que elas são acionadas por motores elétrico de pequeno porte, motores à diesel ou 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 têm-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 mundo em razão de proporcionar vazões de injeção constantes durante a fertirrigação. Em razão de serem confeccionadas 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 (Figura 1) são equipamentos que trabalham com uma pressão efetiva positiva e superior a pressão disponível no sistema de irrigação. Essas bombas são confeccionadas com materiais resistentes a pressão e apresentam a vantagem de introduzir a solução na água de irrigação através de taxa constante, o que nem sempre se tem com outros tipos de injetores.

Nathan (1994) cita que existem bombas tipo diafragma com capacidade de injeção de 10 a 250 l/h e que podem trabalhar com pressões de serviço entre 1,8 a 8 kg cm⁻².

O problema decorre da reduzida vida útil dos diafragmas devido à fragilidade dos materiais que são construídos e por trabalharem em contato direto com soluções corrosivas. Isso exige uma manutenção rigorosa e reposição freqüentes dessas peças (Burt et al. 1995).



Figura 1. Fotografia de uma bomba injetora tipo diafragma.

BOMBA INJETORA TIPO PISTÃO

As bombas injetoras tipo pistão (Figura 2) são bombas dotadas de um, dois ou mais pistões acoplados em blocos metálicos que se movimentam impulsionados por meio de sistemas tipo biela ou acoplados em roldanas.

No início de cada ciclo se tem 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.

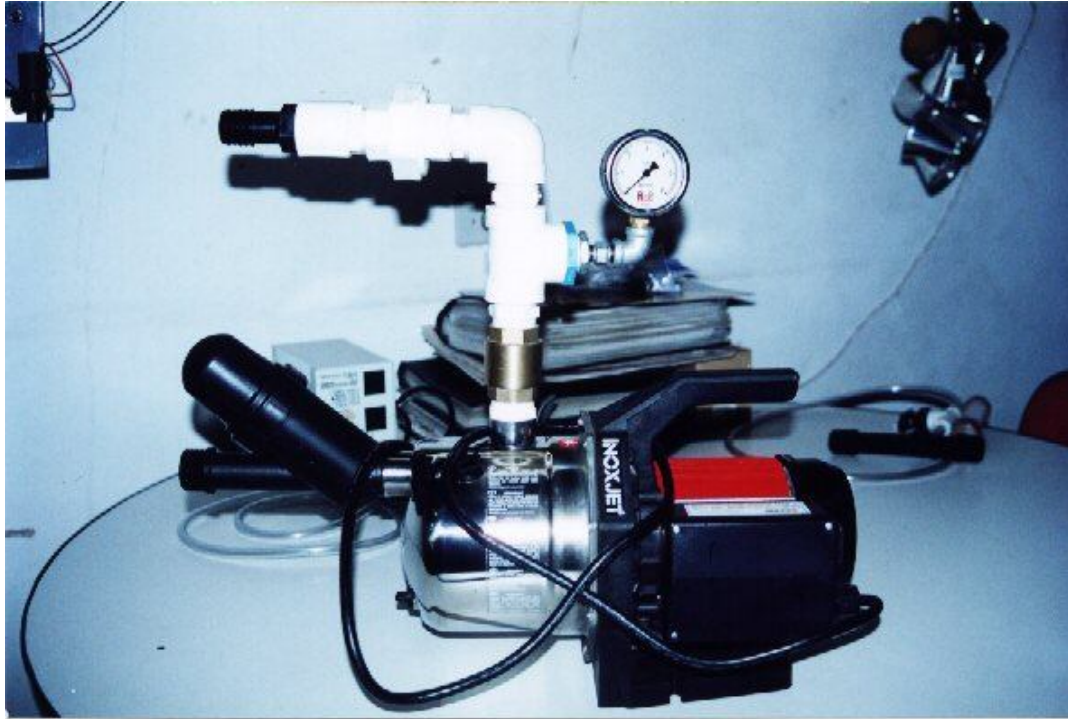


Figura 2 – Bomba injetora tipo pistão com motor elétrico de uma e duas entradas

Atualmente é o sistema mais exato de injeção e o mais desenvolvido. Apresenta a vantagem de sua fácil automação, podendo ser regulada sua programação partindo 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 (Figura 3).

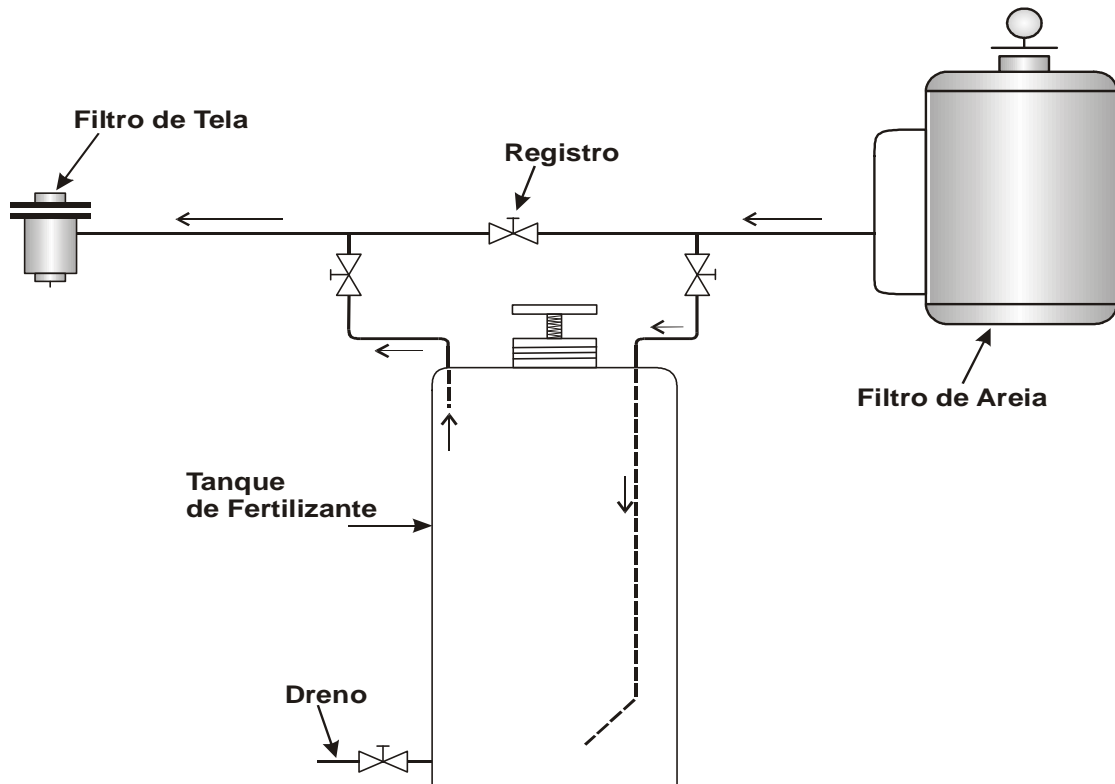


Figura 3 – tanque de derivação de fluxo

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 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 & Schneck (1998) para determinar o volume do tanque precisamos conhecer:

- área a ser fertirrigada, (ha);

- tipo de cultura;
- quantidade de fertilizante a ser aplicado 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 aplicado por vez (kg/ha);

n = número de aplicações entre sucessivos abastecimento do tanque.

Há quem cite 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 a distribuição da solução ao longo das linhas laterais Feitosa Filho et al., (1999) constataram que no início do tempo de fertirrigação tem-se maior concentração da solução nos emissores situados no início das laterais e com o movimento da solução no interior desses tubos cada vez vai diminuindo a concentração 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

A FAO (1986) recomenda a fórmula seguinte para se determinar a concentração da solução do produto adicionado no tanque e que permanece no seu interior em relação a quantidade inicial com fluxo de entrada e de saída constante:

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

em que:

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 logaritmo neperiano;

q - vazão derivada ao tanque, l/h;

t = tempo, h;

V_t - volume do tanque, L.

Ao se estabelecer uma relação entre o volume que deve passar no tanque em relação ao volume do tanque, a equação ficará simplificada para:

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

Segundo a FAO (1986), 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 x 4 volumes de água (l)/tempo de Fertirrigação (minutos). Ex: volume do tanque: 100 l e tempo de duração da Fertirrigação 40 minutos. A taxa de água derivada ao tanque será:

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

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:

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

em que,

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

log - base do logarítmo decimal.

X = 4 (Recomenda-se passa pelo tanque de fertilizantes 4 vezes o seu volume).

Shani (1983) comenta que este tipo de injetor é mais utilizado em todo mundo devido 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.

Outro inconveniente comentado por Kennedy e 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.

INJETOR TIPO VENTURI

O injetor tipo Venturi é um dispositivo de polipropileno, PVC ou metálico que possui uma secção convergente gradual seguida de um estrangulamento e de uma secção divergente gradual para igual diâmetro da tubulação a ele conectado. A função do injetor tipo Venturi nos trabalhos ligados a fertirrigação é aspirar uma solução de produtos químicos contida num reservatório aberto e incorporá-la na água de irrigação que passa pelo injetor.

O princípio de funcionamento do injetor tipo Venturi baseia-se na transformação de formas de energia, onde parte da energia de pressão da água na tubulação é transformada em energia cinética, quando alcança a secção convergente e secção estrangulada do injetor. Novamente esta energia é transformada em energia de pressão quando volta à tubulação principal.

Uma das vantagens desse tipo de injetor deve-se a simplicidade de operação, seu baixo custo e uma eficiência satisfatória quando se trabalha com condições de pressões de serviço e de vazões motrizes bem definidas.

Moorhead (1998) cita com vantagem do injetor tipo Venturi os seguintes aspectos:

- 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 tem-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).

Outra limitação citada por Ferreira (1994) e comprovada por Feitosa Filho, (1998) diz respeito ao baixo rendimento e o 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 difícil a nível de produtor.

O limite operacional inviabiliza utilizar o injetor em condições hidráulicas diferentes daquelas as quais foram estabelecidas e projetadas para construção de determinado injetor.

Nos injetores tipo Venturi (Figura 3) o fluxo de fertilizante injetado na rede estará em relação direta à pressão da água à entrada do mecanismo, com uma pressão mínima da ordem de 150 kPa. A vazão varia, nos modelos mais usuais, entre 50 e 2.000 L.h⁻¹. A vazão mínima que deve passar através do “Venturi” depende de sua capacidade e varia desde 1 m³.h⁻¹ para os modelos de 1” a mais de 20 m³.h⁻¹ para Venturi de 2” de alta capacidade de sucção.

A maior vantagem destes injetores de fertilizantes é a simplicidade do dispositivo, bem como seu preço, manutenção e durabilidade, além de não necessitar 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 o esquema de instalação mais adequado, dentre as três formas de instalação: instalação do injetor diretamente na linha de irrigação (Figura 4); instalação por meio de uma derivação tipo “by pass” (Figura 5) e instalação do injetor com uma bomba auxiliar.

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 efetuado uma pequena perda de carga através da instalação de um registro na linha de irrigação, para desviar parte do fluxo de água para o Venturi.



Figura 3. Fotografias do injetor tipo Venturi.

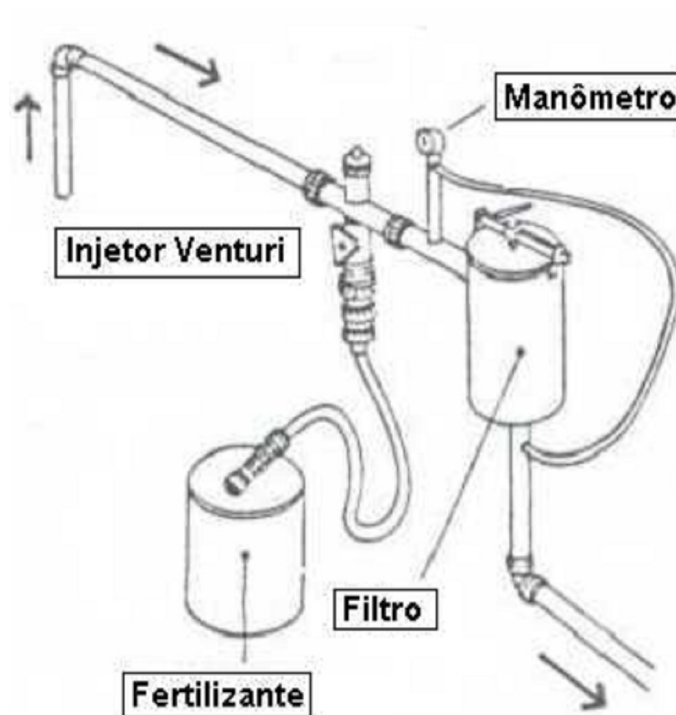


Figura 4 – Instalação de injetor Venturi na linha de irrigação.

A instalação do Venturi em um esquema "by pass" (Figura 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.

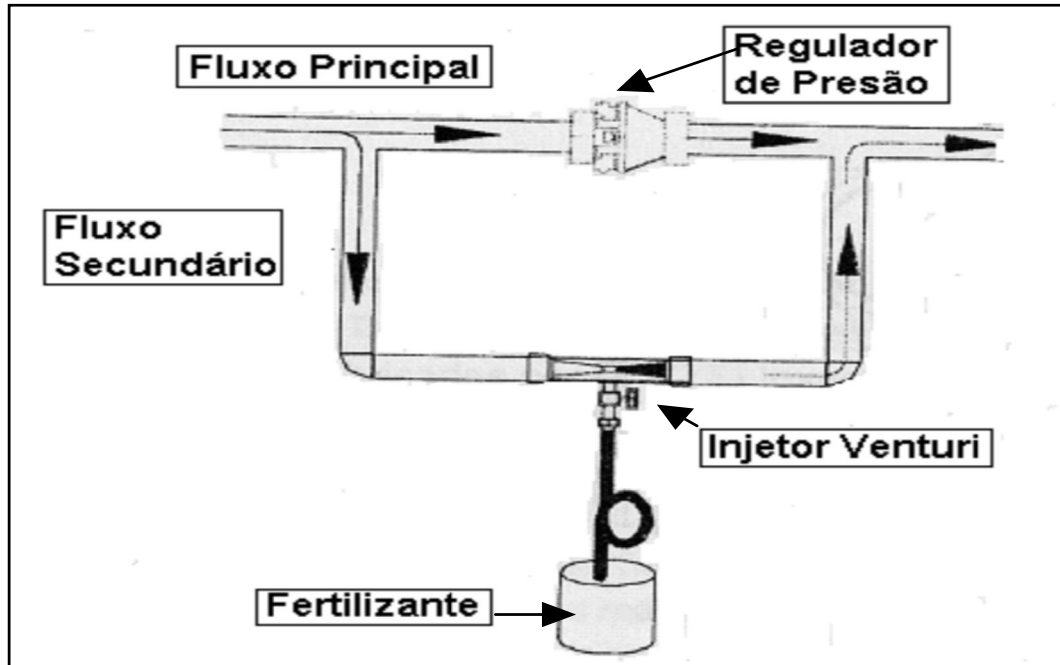
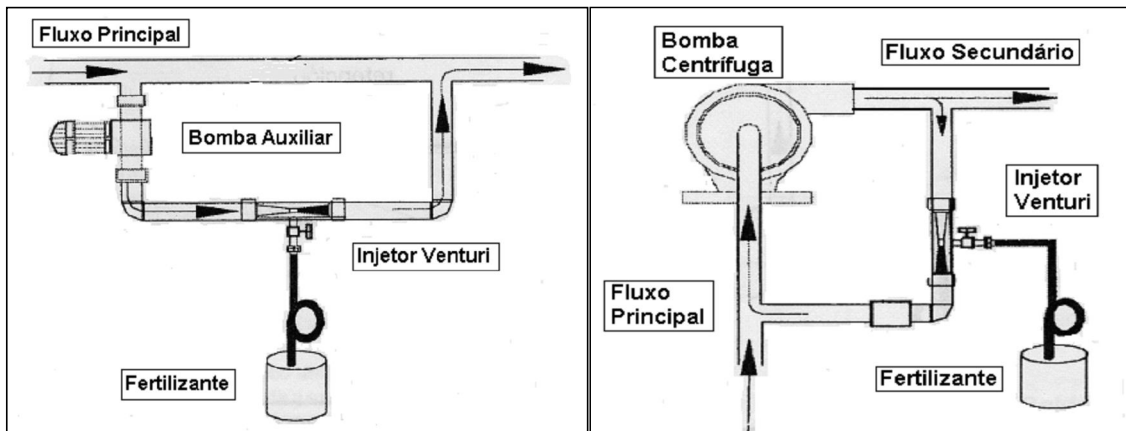


Figura 5 – Instalação do Venturi em “by pass”

Em muitos casos, quando se quer evitar grandes perdas de carga, se instala um pequeno equipamento de bombeamento antes do Venturi (Figura 6).

Figura 6 – Instalação de Venturi utilizando bomba auxiliar



INJETOR ELÉTRICO DE FERTILIZANTES

As bombas injetoras com motor elétrico estão muito desenvolvidas porque são utilizadas não somente para a injeção de fertilizantes, como também nos tratamentos de águas, na indústria petroquímica, na 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 e 1.500 L.h⁻¹.

A vazão real é praticamente igual à teórica, desde que o rendimento volumétrico está muito próximo de 100%.

Para modificar a vazão se pode variar a velocidade C 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. 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 mutuamente 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 leva a obstrução dos 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 nas 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 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 monoamônio (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 & Schneck (1998).

PARCELAMENTO DOS PRODUTOS NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

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

Trabalhos conduzidos por Alves et. al. citados por Costa et al. (1994) comparando cinco métodos de aplicação de uréia diretamente no solo através 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 aplicado pelo método tradicional resultaram em produção de grãos semelhantes àquelas obtidas com a uréia 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 menor risco de perdas dos adubos devido a lixiviação, pois as quantidades aplicadas por vez serão menores e haverá maior eficiência nos 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 & Karmeli (1975) recomendam tempos de aplicações entre uma e duas horas sempre considerando um tempo antes da Fertirrigação e pós Fertirrigação em torno de 30 min. e 60 min., respectivamente, com o sistema trabalhando apenas com água limpa para lavagem de todo 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. É preciso para isso 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 relacionado com a própria uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação. Sistemas de irrigação que não apresentam boa uniformidade de distribuição de água diretamente 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.

FATORES RELACIONADOS À RELAÇÃO CUSTO/BENEFÍCIO DA FERTIRRIGAÇÃO

Não só a Fertirrigação como qualquer atividade agrícola deverá ser devidamente planejada e avaliada em relação se as vantagens condicionadas pela prática justificam os investimentos de implantação para sua execução. 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) que apresenta as Tabelas 6 e 7 que dão idéia da relação custo/benefício da Quimigação. Esse trabalho de muita importância, entretanto não informa com qual foi a cultura trabalhada, aspectos relacionados ao tipo de solo e outros detalhes que ajudariam 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

Os dados da Tabela 6 segundo foram considerados que o preço da aplicação com trator e avião seriam baseados no custo operacional de um pivô central para 61 ha, com custo fixo da irrigação mais o custo fixo anual do equipamento de fertirrigação.

Trabalhos de pesquisa 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 mesma produtividade ou até produtividade inferior àquelas obtidas quando adubada com os métodos tradicionais deve-se considerar que com a fertirrigação há menor custo com mão de obra e menos consumo e desperdício dos produtos utilizados. A avaliação do custo com a fertirrigação é um aspecto que precisa ser estudada com diferentes culturas, sistemas de irrigação, diferentes solos, água, clima e meio ambiente.

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

Fonte: Threadgill (1985).

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

CORROSÃO DO 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 são relativamente altos e o uso de determinado produto pode reduzir a vida útil dos instrumento e inviabilizar à pratica. Cada equipamento apresenta maior ou menor capacidade de sofrer corrosão, dependendo do tipo de material utilizado para sua confecção e do produto utilizado na Quimificação.

A Tabela 8 apresenta uma lista de produtos testada por Martin em 1953 citada 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 da 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 demais componentes ambientais.

Viana (1994) cita que 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.

MEDIDAS DE SEGURANÇA DO SISTEMA DE INJEÇÃO

Como a maioria dos produtos químicos utilizados na Quimigação são produtos perigosos para o homem e ambiente necessitam de cuidados especiais daqueles que estão manuseando o sistema de injeção. Nos cultivos irrigados tecnificados existem equipamentos como registros, 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 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 parece ser um dos aspectos mais importantes dessa prática. Os cálculos das quantidades e dosagens dos produtos a serem aplicados contribuem atualmente, na maioria dos problemas e eficácia com a prática da quimigação.

Muitas propriedades que imaginam estarem fazendo a quimigação, 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 toxidade 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.

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

-Uréia: 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:

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

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

100 kg uréia 46 kg N

X 274

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

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 Uréia que possui 46% de N. Como fonte supridora do Fósforo deverá ser utilizado o Superfosfato Simples que possui 20% de P₂O₅. O Cloreto de Potássio que possui 60% de K₂O será utilizado como fonte do Potássio.

Todo o Fósforo deverá ser aplicado na 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 serem feitos em função da análise de 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 μ g/cm ³	K trocável meq/100cm ³
Muito baixo	0 - 70	0 – 6	0,00 - 007
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: Raij (1995).

Tabela 10. Limites de teores de Magnésio no solo.

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

Fonte: Raij (1995).

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

Profundidades (cm)	H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c .dm ³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CCT	V (%)
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.

Profundidade (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

O Boletim Técnico 100 do IAC (1996) recomenda para a cultura da alface os dados da seguinte Tabela.

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

	P resina mg/dm ³			K ⁺ trocável , mmol _c /dm ³		
Nitrogênio	0 - 25	26 - 60	> 60	0 - 1,5	1,6 -3,0	> 3,0
N, kg/ha	P ₂ O ₅ , kg/ha			K ₂ O, kg/ha		
40	400	300	200	150	100	50

Fonte: Boletim Técnico, 100 IAC (1996).

Segundo o Boletim 100 IAC (1996), os adubos minerais devem ser misturados no solo juntamente com o adubo orgânico (60 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 a 90 kg/ha parcelado em 3 vezes aos 10, 20 e 30 dias pós transplântio das mudas.

CÁLCULO DA SOLUÇÃO PARA FERTIRRIGAÇÃO:

Não considerando inicialmente, a adubação orgânica como fonte de N e considerando nas amostras um teor P no solo de 32 mg/dm^3 e o teor de K de $1,8 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ tem-se que numa área de 1ha (10000 m^2) deve ser aplicado 120 kg/ha de N, 300 kg/ha de P_2O_5 e 100 kg/h de K_2O .

Cálculos

Área útil de 1 canteiro de: $1,20 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 36 \text{ m}^2$;

Área útil dos 200 canteiros: $200 \times 36 \text{ m}^2 = 7.200 \text{ m}^2$.

Cálculo dos adubos necessários para essa área total (7200 m^2)

a) Quantidade de Uréia como fonte de Nitrogênio.

100 kg de Uréia \rightarrow 46 kg de N

$x \rightarrow 120 \text{ kg de N} \therefore x = \mathbf{260 \text{ kg de Uréia.}}$

Obs: Essa seria a quantidade necessária de Uréia para ser aplicado na área de 1 ha ou seja de 10.000 m^2 . Para a área considerada de 7.200 m^2 será:

$10.000 \text{ m}^2 \rightarrow 260 \text{ kg de Uréia}$

$\mathbf{7200 \text{ m}^2} \rightarrow y \therefore y = \mathbf{188 \text{ kg de Uréia.}}$

b) Quantidade de Superfosfato Simples como fonte de Fósforo.

100 kg de Superfosfato Simples \rightarrow 20 kg de P_2O_5

$x \rightarrow 300 \text{ kg de } \text{P}_2\text{O}_5$

$\therefore x = \mathbf{1500 \text{ kg de Superfosfato simples}}$

$10.000 \text{ m}^2 \rightarrow 1.500 \text{ kg de Superfosfato Simples}$

$$7.200 \text{ m}^2 \rightarrow y \therefore$$

$$y = \mathbf{1.080 \text{ kg de Superfosfato simples.}}$$

c) Quantidade de Cloreto de Potássio como fonte de Potássio.

$$100 \text{ kg de Cloreto de Potássio} \rightarrow 60 \text{ kg de K}_2\text{O}$$

$$x \rightarrow 100 \text{ kg de K}_2\text{O}$$

$$\therefore x = \mathbf{167 \text{ kg de Cloreto de Potássio}}$$

$$10.000 \text{ m}^2 \rightarrow 167 \text{ kg de Cloreto de Potássio}$$

$$7.200 \text{ m}^2 \rightarrow y \therefore$$

$$y = \mathbf{120 \text{ kg de Cloreto de Potássio.}}$$

Obs: Essa seria a quantidade de Cloreto de Potássio se fosse aplicada de uma só vez na área total de 7.200 m^2 . Como isso não acontece, há necessidade de se fazer a divisão da área em subparcelas a serem irrigadas por vez e também das dosagens desse produto para sua aplicação via água de irrigação. Estabelecendo-se que a área será dividida em quatro subparcelas para facilitar a irrigação, tem-se um total de 50 canteiros irrigados por vez/parcela com área útil de 1800 m^2 . Definindo-se que todo o Fósforo e $1/3$ do Nitrogênio juntamente com $1/3$ do Potássio será aplicado a lanço e incorporado no solo durante a fundação e os $2/3$ restante desses dois últimos adubos serão divididos em 8 ou mais aplicações via Fertirrigação por parcela irrigada por vez:

a) Para a Uréia

$$7.200 \text{ m}^2 \rightarrow 188 \text{ kg de Uréia}$$

$$1.800 \text{ m}^2 \rightarrow y \therefore$$

$$y = \mathbf{47 \text{ kg de Uréia.}}$$

A quantidade de $2/3$ correspondente a Fertirrigação será de $31,3 \text{ kg}$ de Uréia que dividida em 8 fertirrigações dará **$3,91 \text{ kg de Uréia}$** aplicada em cada parcela de 50 canteiros.

a) Para o Cloreto de Potássio

$$7.200 \text{ m}^2 \rightarrow 120 \text{ kg de Cloreto de Potássio}$$

$$1.800 \text{ m}^2 \rightarrow y \therefore$$

$$y = \mathbf{30 \text{ kg de Cloreto de Potássio.}}$$

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 ser aplicado em cada parcela de 50 canteiros/vez. Cálculos semelhantes serão feitos para os demais nutrientes ou caso haja o aumento do número de Fertirrigação 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 deverá ser quantificado 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.

Pede-se: Qual deverá ser a quantidade de Uréia 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 à 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

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

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

A quantidade de Uréia 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 o Potássio para atender a seguinte 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. Pedese:

a) determinar a dose/ha e dose/emissor de N e de Uréia 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 sendo considerado que esse reservatório deverá ter um ter o 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 tenha concentração de 1,83% da concentração inicial?

Solução

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

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

$$\bullet \text{dose de N/ha} = (0,15\text{g/cova} \times 1333 \text{ covas}) \cong 200 \text{ kg de N/ha.}$$

$$\bullet \text{como a Uréia possui 46\% de N} \rightarrow (200 \text{ kg de N}/0,46) = 435 \text{ kg de Uréia/ha.}$$

$$\bullet \text{total de Uréia necessária para os 4,0 ha} = 1740 \text{ kg de Uréia.}$$

b) Cálculo da taxa de injeção (q_i)

$$\bullet \text{como tem-se 4,0 ha / (2 dias} \times 2 \text{ turnos)} = 1,0 \text{ ha/turno}$$

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

c) Cálculo da concentração de Nitrogênio na água de irrigação

$$\bullet \text{vazão total de água/ha} = 0,8 \times 2 \times 1333 \text{ covas} = 2133 \text{ l/h}$$

$$\bullet \text{vazão de água no sistema} = 2133 \text{ l/h} / 0,90 = 2370 \text{ l/h} = 2,37 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\bullet \text{vazão da solução fertirrigada} = 2370/0,15 = 356 \text{ l/h.} = 0,356 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_N = \frac{100 \times 435 \text{ kg de N / ha}}{0,356} = 122.191 \text{ mg / l} \text{ (se aplicada de uma só vez)}$$

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

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

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

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

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

Como determinou-se inicialmente que 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 Uréia 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:

q₁ - vazão do sistema de irrigação: 45,5 m³/h = 45500 l/h;

C₁ - concentração natural de N na água de irrigação: 12 ppm

q₂ - vazão do injetor: 400 l/h;

C₂ - concentração a ser colocada no tanque: ?

C₃ - concentração desejada na água de irrigação: 80 ppm;

q₃ - 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:

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

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

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

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

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

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

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 :

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

que substituindo os valores fornecidos se tem:

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

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 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 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.

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.

LITERATURA CONSULTADA

BISCONER, I. Chemigation: how irrigation lines can serve double duty. **Agricultural Engineering**. 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. Viçosa: UFV, 1995, 57 p. (Tese de Mestrado).

BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University. 1995. 295p.

COSTA, E.F, da.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. Quimigação: Aplicação de produtos químicos e biológicos via água de irrigação. Sete Lagoas: CNPMS-EMBRAPA, 1994, 315 p.

F.A.O. **Riego localizado**. Roma. 1986. 203 p. Riego y Drenaje. no 36.

FEITOSA FILHO, J. C.; PINTO, J.M., ARRUDA, N.T. Dimensionamento, construção e características hidráulica de um injetor tipo Venturi para uso na Quimigação. **Revista Irriga**, v.4. n.2. 1999. p.68-82.

FEITOSA FILHO, J.C. Otimização hidráulica e manejo de injetores tipo Venturi duplo para fins de Quimigação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 164 p. (Tese de Doutorado).

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. Viçosa: UFV, 1990, 77 p. (Tese de Mestrado).

FERREIRA, J.O.P. Características hidráulicas de dois injetores de fertilizantes do tipo Venturi. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 76 p. (Tese de Mestrado).

HERNANDEZ, A. J. M; RODRIGO LÓPEZ, J. PÉREZ REGALADO, A. Fertilizadores tipo Venturi. In: El riego localizado. Curso internacional de riego localizado. Madrid, 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 opertion of farm irrigation systems. **ASAE**, 1980, p.711-717.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design. Glendora, Califórnia: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

MONTAG, G. & SCHNECK, C. **Horticultural fertigation-techniques, equipment and management**, <http://w.w.w.agric.nsw.gov.au/Arm/Water.pub/1009.htm> (16 June 1998).

MOORHEAD, M.E. Applying fertilizers in solution. **Better crop with plant food**. v.32, 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**. p.10; 14; 16; 18; 42 e 44. Julio 1985.

RAIJ, B. van Fertilidade do solo e adubação. São Paulo; Piracicaba: Ceres – Patofos. 1995. 343.

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. Capinas, Instituto Agrônômico de – Fundação IAC. 1996. 285p. (IAC, Boletim }Técnico, 100).

- ROSTON, D.E.; MILLER, R.J.; SCHUBACH, H. management principles. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Trickler irrigation for crop production. Amsterdam, Elsevier, 1986, p. 317-45.
- SAN JUAN, J. A. M. Riego por goteo – teoria y práctica. Madrid, Espanha, Mundi-Prensa. 1985. 206p.
- 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: currents status and future development. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n1, p.16-23, 1985.
- VIANA, P. A . Insetigação. Quimigação: Aplicação de produtos químicos e biológicos via água de irrigação. Sete Lagoas: CNPMS-EMBRAPA, 1994. 315 p.
- VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E.; PENTEADO, S.R. Fertilizantes e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 261-281
- ZANINI, J.R. Hidráulica da Fertirrigação por gotejamento utilizando tanque de derivação de fluxo e bomba injetora. Piracicaba: USP, 1987, 103 p. (Tese de Doutorado).