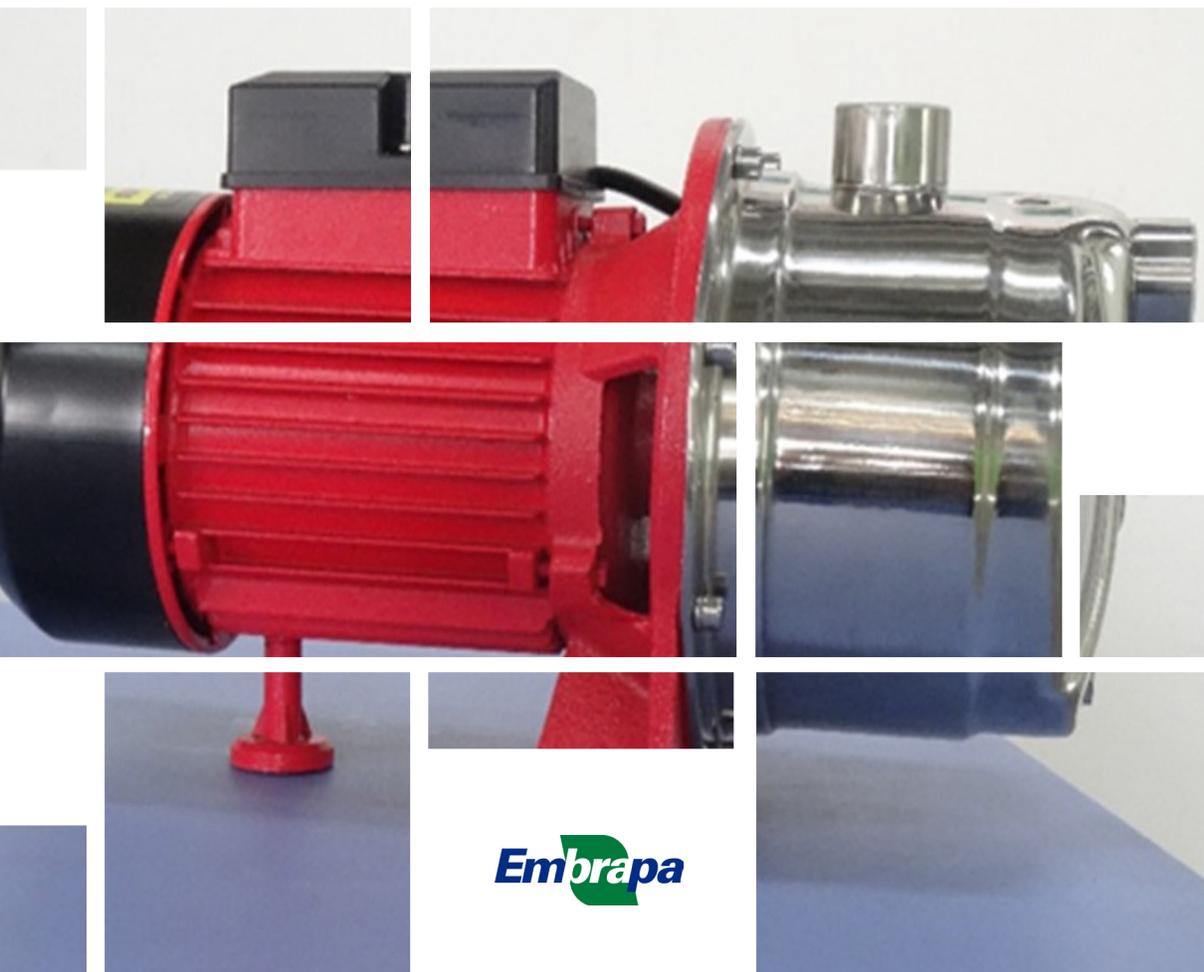


## Fertilizantes e agroquímicos aplicados via água de irrigação



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Semiárido  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

## DOCUMENTOS 302

# Fertilizantes e agroquímicos aplicados via água de irrigação

*José Maria Pinto  
Davi José Silva*

**Embrapa Semiárido**  
Petrolina, PE  
2021

Esta publicação está disponibilizada no endereço:  
<http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>  
Exemplares da mesma podem ser adquiridos na:

**Embrapa Semiárido**  
BR 428, km 152, Zona Rural  
Caixa Postal 23  
CEP 56302-970, Petrolina, PE  
Fone: (87) 3866-3600  
Fax: (87) 3866-3815

Comitê Local de Publicações

Presidente  
*Nataniel Franklin de Melo*

Secretária-Executiva  
*Juliana Martins Ribeiro*

Membros  
*Alineurea Florentino Silva, Clarice Monteiro Rocha, Daniel Nogueira Maia, Geraldo Milanez de Resende, Gislene Feitosa Brito Gama, José Maria Pinto, Magnus Dall'Igna Deon, Paula Tereza de Souza e Silva, Pedro Martins Ribeiro Júnior, Rafaela Priscila Antônio, Sidinei Anunciação Silva*

Supervisão editorial  
*Sidinei Anunciação Silva*

Revisão de texto  
*Sidinei Anunciação Silva*

Normalização bibliográfica  
*Sidinei Anunciação Silva (CRB-4/1721)*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Sidinei Anunciação Silva*

Foto da capa  
*José Maria Pinto*

**1ª edição: 2021**

**Todos os direitos reservados.**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Semiárido

---

Pinto, José Maria.

Fertilizantes e agroquímicos aplicados via água de irrigação / José Maria Pinto, Davi José Silva. — Petrolina: Embrapa Semiárido, 2021.  
60 p. — (Embrapa Semiárido. Documentos, 302).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.  
ISSN 1808-9992.

1. Fertilização. 2. Fertilizantes. 3. Micronutrientes. 4. Adubação. I. Pinto, José Maria. II. Silva, Davi José. III. Título. IV. Série.

CDD 631.587

© Embrapa, 2021

## Autores

### **José Maria Pinto**

Engenheiro agrícola, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

### **Davi José Silva**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.



## Apresentação

Os preceitos da sustentabilidade avançam para atingir as diferentes atividades humanas. Basicamente, considera-se uma atividade sustentável quando ela é desenvolvida respeitando-se o meio ambiente, incluindo o cumprimento de todo o arcabouço legal, além das práticas e tecnologias conservacionistas, com benefício social assegurado, mas sem perder de vista a viabilidade econômica. Neste contexto e considerando-se a atividade agropecuária, a contribuição da pesquisa tem permitido o desenvolvimento e adoção de várias práticas e estratégias produtivas, amparadas pelo uso racional dos recursos naturais. O manejo de pastos, a rotação de culturas, a recuperação de áreas degradadas, a integração lavoura-pecuária-floresta, a agricultura de baixo carbono, a irrigação localizada, entre outras, são exemplos que vem sendo disseminados.

Essas tecnologias agrícolas partem do alvo comum de aumentar a produtividade, com preservação do meio ambiente e minimização dos impactos das ações antrópicas sobre o mesmo. Desta forma, avançam para atividades agrícolas eficazes e duradouras, numa percepção sistêmica.

Práticas conservacionistas têm um apelo ainda maior quando direcionadas a ambientes que apresentam alguma limitação à atividade agrícola. No Semiárido, a escassez de água, decorrente da má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, geralmente se apresenta como principal limitação, se não forem adotadas estratégias tecnológicas regionalizadas para uso racional. Outros desafios regionais incluem a presença de solos rasos e vulneráveis a processos degradativos. Sendo a água um recurso escasso no Semiárido, atingir a sustentabilidade da atividade agrícola regional depende de usá-la na quantidade e momento adequados, bem como utilizando-se a técnica de disponibilização que seja mais eficiente.

Nesta publicação são apresentados os conceitos fundamentais sobre a fertirrigação, uma tecnologia que fornece conjuntamente água e os minerais necessários para o cultivo. É uma técnica de base sustentável e fundamental para a produção dependente da irrigação, que tem origem no estabelecimento de critérios técnicos para o fornecimento, no momento exato, dos insumos necessários ao desenvolvimento da cultura, evitando-se desperdícios. São exemplificadas situações e condições de aplicação para o Semiárido, considerando-se cultivos de grande expressão na região como melancia, uva, melão e cebola.

*Maria Auxiliadora Coêlho de Lima*  
Chefe-Geral da Embrapa Semiárido



## Sumário

Introdução .....	9
Fertirrigação .....	9
Equipamentos para a fertirrigação .....	11
Crerios para a escolha dos equipamentos de injeção de fertilizantes	18
Aplicação de fertilizantes .....	18
Fertilizantes .....	19
Exemplos de cálculo na fertirrigação .....	32
Considerações sobre o manejo da fertirrigação .....	40
Considerações finais.....	57
Referências.....	57

## Introdução

A irrigação desenvolveu-se consideravelmente, principalmente após a descoberta de tubos de polietileno e PVC, materiais não corrosivos, o que possibilitou a concepção e aprimoramento de novos métodos, como gotejamento, com emissores em constante processo de aperfeiçoamento e equipamentos para a condução e aplicação de água para atender a demanda das plantas. Com o surgimento de novas técnicas e políticas públicas direcionadas ao setor, houve incremento de novas áreas irrigadas, com acréscimo na demanda por recursos hídricos e, conseqüentemente, necessidade no aumento na eficiência no uso de água por parte dos consumidores e das exigências de órgãos certificadores.

Com o uso de materiais não corrosivos há a possibilidade de utilizar o próprio sistema de irrigação como meio condutor e distribuidor de produtos químicos como fertilizantes (fertirrigação) e agroquímicos (inseticidas, herbicidas, nematocidas, reguladores de crescimento, entre outros), simultaneamente com a água de irrigação, processo denominado quimigação.

Entre as vantagens que podem ser apontadas neste tipo de manejo, cita-se a redução de custos e de riscos de contaminação de operadores na aplicação de produtos químicos, aliadas ao aumento da eficiência de uso dos insumos agrícolas, inclusive a água, que além de ser distribuída heterogeneamente espacial e temporalmente, está se tornando escassa em algumas regiões produtoras do mundo.

No Brasil, o manejo mais utilizado na quimigação é a aplicação de fertilizantes (fertirrigação), devido aos resultados gerados e já validados para diversas culturas agrícolas, estando entre as técnicas mais eficientes e econômicas de aplicação de fertilizantes às plantas, principalmente em regiões áridas e semiáridas. No entanto, a aplicação de agroquímicos está crescendo em função das vantagens e praticidade inerentes a essa tecnologia para a agricultura irrigada.

## Fertirrigação

A fertirrigação é a técnica que consiste em distribuir fertilizantes no solo cultivado por meio da água empregada na irrigação. Nesse processo, é feita a

introdução de uma solução contendo fertilizantes via água de irrigação com o objetivo de aplicar os nutrientes apenas no volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura, no caso da irrigação localizada, de acordo com a curva de absorção de nutrientes da planta (Lorenz; Maynard, 1988; Sousa et al., 2011) e, portanto, diferindo da aplicação de fertilizantes diretamente no solo. A fertirrigação também deve permitir que a concentração de nutrientes na solução do solo seja suficiente para proporcionar a absorção dos elementos em quantidade necessária, prevenindo as deficiências nutricionais e evitando desperdícios.

Entre as principais vantagens da fertirrigação, segundo Tales (2002), destacam-se:

- 1) Melhoria da eficiência e uniformidade de aplicação de fertilizantes, desde que o sistema de irrigação também tenha boa uniformidade de distribuição de água.
- 2) Possibilidade de redução na dosagem de fertilizantes pela aplicação dos mesmos nos momentos e nas quantidades de nutrientes requeridas pelas plantas.
- 3) Maior aproveitamento do equipamento de irrigação.
- 4) Menor compactação do solo e redução dos danos físicos às plantas com a redução do tráfego de máquinas na área.
- 5) Redução de contaminação do meio ambiente devido ao melhor aproveitamento dos nutrientes móveis no solo, quando aplicados via água em irrigação.
- 6) Diminuição da utilização de mão de obra.
- 7) Otimização da distribuição dos nutrientes durante o ciclo do desenvolvimento fenológico, ou seja, sincronizar o suporte nutricional no solo com a exportação realizada pela planta (Pinto; Soares, 1990).
- 8) Possibilidade de aumento do retorno financeiro e preservação ambiental, devido ao aumento na produtividade, a melhora na qualidade do produto, o uso eficiente das aplicações e a economia de energia, de insumos, de mão de obra e do uso racional de recursos hídricos (Papadopoulos, 2001).

Como limitações, de acordo com Tales (2002), têm-se:

- 1) Exigência de adubos específicos e cálculos das formulações.
- 2) Possibilidade de causar corrosão nos equipamentos do sistema de irrigação.
- 3) Favorecimento das obstruções do sistema de irrigação.

Com o desenvolvimento da agricultura orgânica e a oferta de insumos apropriados para esse segmento do agronegócio, a fertirrigação além de mineral pode ser também orgânica, conforme se trate de aplicação de fertilizantes minerais, sintéticos ou orgânicos como, vinhaça, biofertilizantes, chorumes e águas residuais provenientes de esgotos domésticos (Hernandez, 1993; Frizzzone et al., 1994). Para quaisquer desses, deve-se obedecer ao princípio de aplicação de fertilizantes via fertirrigação que preconiza o uso de fertilizantes solúveis em água e de equipamentos específicos para injetar a solução nas linhas de irrigação. Sistema de irrigação corretamente dimensionado e a manutenção adequada permitem uma aplicação uniforme de fertilizantes com água de irrigação, viabilizando o acompanhamento e o controle dos nutrientes no perfil do solo e de seus efeitos na água, no solo e na planta.

## Equipamentos para a fertirrigação

Para a aplicação da fertirrigação, os sistemas de irrigação pressurizados são os mais indicados, destacando-se a irrigação localizada, especialmente o gotejamento, dadas às suas características de aplicação de água pontual no solo, onde há concentração das raízes das plantas. A água e os nutrientes devem ser distribuídos, obedecendo-se às exigências da cultura, conforme os estádios de desenvolvimento da mesma, favorecendo a absorção simultânea deles pelas raízes das plantas (Lopez, 2001).

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

O primeiro passo a ser realizado é a dissolução dos fertilizantes em um tanque com sistema de agitação, passando ao tanque reservatório e ao sistema

de injeção da solução, deste para o sistema de irrigação, por fim, chegando ao solo e às plantas.

## Tanque ou reservatório para a dissolução de fertilizantes

Todo sistema de injeção de fertilizante requer um tanque ou reservatório para dissolução dos produtos químicos e um sistema de agitação para esses produtos. O material utilizado na confecção deste tanque deve resistir à corrosão causada pelos fertilizantes. O sistema de agitação pode ser manual ou mecânico (Figura 1).



**Figura 1.** Tanques para a dissolução de fertilizantes com agitadores manual (A) e mecânico, em que se programa o deslocamento do conjunto motor com hélice (B).

O volume mínimo do reservatório deve ser suficiente para a fertirrigação de uma unidade de rega, sem que se requeira o reabastecimento. O volume do reservatório pode ser calculado pela seguinte fórmula (Lopez, et al., 1997):

$$V = (n \text{ Qf A})/\text{sol} \quad \text{Equação 1.}$$

Em que:

V é o volume do reservatório, em m<sup>3</sup>.

n é o número de aplicações.

Qf é a quantidade de fertilizantes, em kg ha<sup>-1</sup>.

A é a área a ser fertirrigada, em ha.

sol é a solubilidade do fertilizante, em kg m<sup>-3</sup>.

## Sistemas de injeção de fertilizantes

Para a realização da fertirrigação, é necessário que o sistema de irrigação seja dotado de um equipamento para injetar os adubos na água de irrigação, que se difere segundo a fonte de energia exigida para seu funcionamento, o seu custo e a sua facilidade de manuseio.

Os métodos de injeção de fertilizantes via água de irrigação podem ser classificados em diversos grupos (Haman et al., 1990; Pizarro, 1996), os quais didaticamente estariam classificados em bomba centrífuga (bomba dosadora, pressão positiva e negativa), diferencial de pressão (Venturi) e gravidade.

### Injetor tipo Venturi

O injetor tipo Venturi é um equipamento de PVC, polietileno ou acrílico constituído de seção convergente gradual, seguida de uma seção estrangulada e de uma seção divergente gradual, para diâmetro igual ao da tubulação a que ele está conectado (Figuras 2, 3, 4 e 5). Seu princípio de funcionamento baseia-se na transformação de formas de energia, ou seja, parte da energia de pressão da água de irrigação é transformada em energia cinética quando passa pela seção estrangulada do equipamento.

As vantagens são: custo baixo, capacidade de injeção para pressões e vazões bem definidas, possibilidade de controle da taxa, usando-se apenas um registro, podendo ser usado para outros tipos de produtos na quimificação. É de fácil manutenção, mas pode sofrer variação na taxa de injeção do produto. Entretanto, as perdas de carga podem alcançar de 20% a 30% da pressão de serviço. A concentração de nutrientes na solução, quando aplicada usando-se injetor tipo Venturi, é constante durante toda a aplicação (Vidal, 2007).

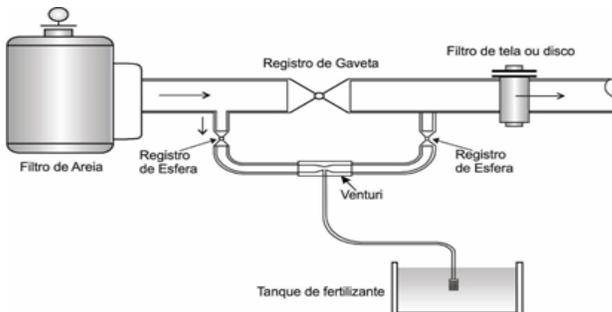


Ilustração: José Clétis Bezerra

**Figura 2.** Esquema de injetor tipo Venturi.

Partindo-se do pressuposto que a vazão no ponto 1 é igual à vazão no ponto 2 (Figura 3), de acordo com a equação da continuidade, ocorrendo alteração da área, para manter a vazão, a velocidade será modificada:

$$Q_1 = Q_2 = A_1V_1 = A_2V_2 \quad \text{Equação 2.}$$

Em que:

Q é a vazão da linha de irrigação, em  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ .

A é a área da seção transversal da tubulação, em  $\text{m}^2$ .

V é a velocidade do fluxo da água, em  $\text{m s}^{-1}$ .

A área  $A_1$  (tubulação) é superior à área  $A_2$  (Venturi). Para que a equação da continuidade seja observada, é necessário que a velocidade do fluxo  $V_2$  seja superior à velocidade do fluxo  $V_1$  (Figura 3). É esta transformação de energia cinética que provoca o diferencial de pressão entre os pontos 1 e 2, provocando uma pressão negativa ou sucção no ponto 2, onde se encontra conectado o reservatório com a solução fertilizante (Figuras 4 e 5).



Foto: José Maria Pinto

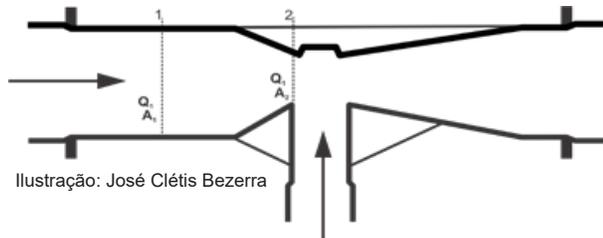


Ilustração: José Clétis Bezerra

**Figura 3.** Detalhe do sistema hidráulico de um Venturi.

As principais características positivas desses injetores de fertilizantes são a simplicidade do dispositivo, baixo custo, fácil manutenção e durabilidade, além de não necessitar de uma fonte de energia especial, na maioria das vezes. Como limitação, pode-se citar a grande perda de carga provocada pelo estrangulamento da tubulação, podendo variar de 20% a 30% da pressão de entrada (Espanha, 1996), dependendo do modelo. Entretanto, existem soluções alternativas para contornar essa limitação, como a instalação do injetor com uma bomba auxiliar.



Figura 4. Esquema de montagem de um injetor de fertilizante tipo Venturi.



Figura 5. Detalhe de Venturi no cabeçal de controle.

### Instalação de injetor com bomba auxiliar

Em muitos casos, quando se quer evitar grandes perdas de carga, se instala um pequeno equipamento de bombeamento antes do Venturi, denominada

bomba *booster*, que é uma bomba auxiliar instalada para proporcionar o diferencial de pressão necessário para a injeção do fertilizante através do Venturi (Figura 6). Apresenta como desvantagem o custo mais elevado de instalação do sistema. O cálculo da pressão que deve fornecer o equipamento de bombeamento é feito por meio da equação (Lopez et al., 1997):

$$H' = H \frac{\Delta p}{1 - \Delta p} \quad \text{Equação 3.}$$

Em que:

$\Delta p$  é a perda de carga do Venturi em relação à pressão da rede, em decimal.

$H$  é a pressão da rede (Mpa).

$H'$  é a pressão a fornecer pelo equipamento de bombeamento.

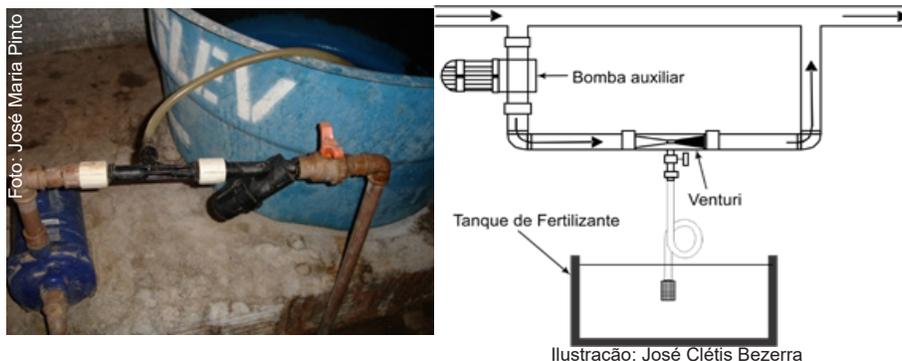


Figura 6. Instalação de Venturi utilizando bomba auxiliar (à esquerda).

## Bombas injetoras

As bombas injetoras com motores elétricos foram desenvolvidas para a injeção de fertilizantes (Figura 7). São confeccionadas com material resistente à corrosão e apresentam a vantagem de injetar a solução na água de irrigação em taxa constante, o que nem sempre acontece com outros sistemas. Como desvantagem, tem um alto custo que pode inviabilizar sua aplicabilidade. Em geral, injetam uma quantidade de fertilizantes calculada para que proporcione uma concentração de nutriente específica na água de irrigação (Brito; Pinto, 2008). As vazões variam de 20 L h<sup>-1</sup> a mais de 3.000 L h<sup>-1</sup>.

A vazão teórica injetada por uma bomba injetora é dada pela equação proposta por (Macintyre, 1997):

$$Q = \pi NR^2C \quad \text{Equação 4.}$$

Em que:

Q é a vazão da bomba em L h<sup>-1</sup>.

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

R é o raio do pistão, em cm.

C é o deslocamento horizontal, em cm.

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

Nas bombas de membrana, o elemento alternativo é um diafragma flexível que oscila por um dispositivo mecânico como nas bombas de pistão, ou pelas pulsações de pressão iniciadas em uma câmara de fluidos. Esse tipo de mecanismo se denomina acionamento hidráulico, no qual o líquido recebe a ação de forças provenientes de uma peça dotada de movimento de rotação que, comunicando energia de pressão, provoca o deslocamento.

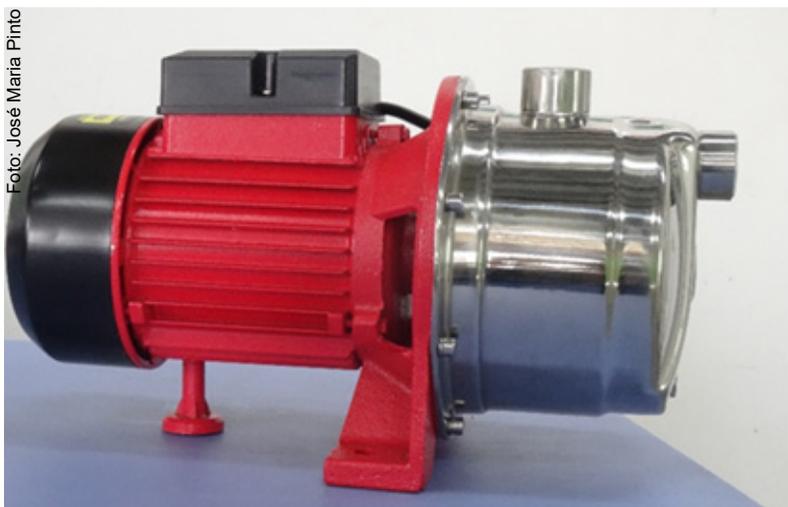


Foto: José Maria Pinto

**Figura 7.** Bomba injetora com motor elétrico.

## Critérios para a escolha dos equipamentos de injeção de fertilizantes

Considerando-se que, em projetos públicos de irrigação, o irrigante recebe a água pressurizada e nem sempre tem energia elétrica na área, conseqüentemente, na seleção do injetor de fertilizante, deve-se considerar, além da área da parcela a ser irrigada, a vazão do sistema de irrigação, fatores específicos inerentes ao método de aplicação, como disponibilidade de energia elétrica no local e pressão disponível na tubulação. Quando há disponibilidade de energia elétrica, podem ser instalados bombas e dosificadores elétricos. Quando não se dispõe de eletricidade, as alternativas são os tanques de derivação ou de fertilizantes, injetores Venturi e os dosificadores hidráulicos que aproveitam apenas a pressão hidráulica da rede de irrigação auxiliar.

A quantidade de solução que o reservatório de fertilizante pode conter e as vazões totais que se podem introduzir na rede de irrigação são funções da frequência de irrigação, necessidade total de fertilizante e forma de aplicação dos fertilizantes. Sistemas de irrigação localizados podem ser subdivididos em parcelas menores, diferente de sistema de irrigação por pivô central, que irriga áreas maiores, sem possibilidade de divisão em parcelas, conseqüentemente, o volume e a capacidade do sistema de fertirrigação devem ser conhecidos e considerados. A calibração é importante, e deve considerar o sistema de irrigação e o sistema de aplicação de produtos químicos, pois a distribuição da água no sistema de irrigação deve ser uniforme para distribuir também, uniformemente, o produto que nela estiver dissolvido. A calibração é um procedimento simples e análogo para os diversos métodos de irrigação. Além disso, é essencial para o bom desempenho da tecnologia de aplicação de fertilizantes.

## Aplicação de fertilizantes

Fertilizantes solúveis em água podem ser aplicados via água de irrigação. No Brasil, não existe uma lei que normatize a aplicação de produtos químicos via água, diferente de outros países. Como exemplo, cita-se o estado da Califórnia, nos Estados Unidos da América, que permite aplicar 10 ppm de nitrogênio (Lopez et al., 1997).

As normas que regulam a aplicação de fertilizantes no Brasil são de responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

(Mapa), sendo atualizadas regularmente, de acordo com os avanços no setor de fertilizantes, e publicadas no Diário Oficial da União (DOU). A publicação mais recente contempla normativas sobre os produtos aplicados via fertirrigação, entre outras formas de uso dos fertilizantes, contemplando as garantias de concentração dos nutrientes, misturas permitidas em fertilizantes compostos, solubilidade em água a 20 °C, padrões para pH e condutividade elétrica da solução, densidade para produtos fluidos, relação entre soluto e solvente permitida nos fertilizantes utilizados em fertirrigação, assim como detalhes específicos para fertilizantes de todos os demais seguimentos (Brasil, 2018).

## Fertilizantes

Os fertilizantes para uso em irrigação podem ser agrupados em duas classes: os líquidos, que podem ser colocados nos tanques na forma de solução, sem necessidade de tratamento prévio; e os sólidos, que devem ser totalmente dissolvidos antes do início da fertirrigação.

Esses fertilizantes podem ser apresentados na forma simples ou em combinações com dois ou mais nutrientes. Cada fertilizante possui características específicas com relação a propriedades físicas e químicas, como solubilidade, higroscopicidade, cor, textura (tamanho de partícula), condutividade elétrica, reação química de solubilização, podendo ser ácida ou alcalina, em função dos ácidos e bases que deram origem ao fertilizante e ainda exotérmica, com liberação de energia na forma de calor, ou endotérmica com absorção de calor.

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

### Fertilizantes nitrogenados

O nitrogênio é o nutriente utilizado com maior frequência na fertirrigação. Existem vários fertilizantes contendo compostos nitrogenados que podem ser usados na fertirrigação. As formas mais comuns destes compostos são: nitratos, amônio, amida e aminoácidos (Tabela 1). Todas essas formas são passíveis de sofrer transformações ou serem absorvidas pelas plantas em

maior ou menor proporção. Outra característica do nitrogênio é sua alta mobilidade no solo, principalmente na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Haynes, 1990).

## **Características de alguns compostos nitrogenados**

### **Amônio**

O cátion amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), aplicado em baixa concentração, irá adsorver-se aos coloides do solo, movendo-se pouco no perfil em relação ao ponto de aplicação. Dependendo da taxa de aplicação, a concentração dos íons amônio pode ser alta e, nesse caso, eles podem saturar os sítios de troca no solo ao longo do perfil e com isso mover-se gradativamente em profundidade (Villas Boas et al., 1999).

Normalmente, a maior parte do amônio no solo será transformada biologicamente em nitrato, em 2 a 3 semanas, numa temperatura do solo de 25 °C a 30 °C. No entanto, especificamente para aplicação localizada, essas transformações podem ser mais demoradas na zona logo abaixo do emissor devido à alta concentração de amônio e porque o processo de nitrificação necessita de  $\text{O}_2$ , elemento que nessas regiões ocorre em menor concentração por ser o local do bulbo molhado com maior umidade do solo. Concentrações de amônio próximas de 400 mg N  $\text{kg}^{-1}$  a 800 mg N  $\text{kg}^{-1}$  são suficientes para inibir a nitrificação (Sousa et al., 2011).

### **Ureia**

A molécula de ureia, antes de se hidrolisar no solo, não apresenta carga, o que a torna inicialmente móvel. Após a hidrólise e a formação do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), o movimento do N torna-se restrito. A conversão de ureia em amônio é dependente de uma série de fatores. Há resultados de estudos em que 50% da ureia foi convertida em  $\text{NH}_4^+$  com 3 horas após a aplicação (60 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ ). Nesse caso, toda a ureia foi hidrolisada com 48 horas após a aplicação (Freney et al., 1985).

### **Nitrato**

Embora as plantas absorvam prontamente o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) amônio e ureia, as espécies  $\text{C}_4$  apresentaram maior eficiência de absorção e assimilação de ureia. As respostas para o nitrato são normalmente mais rápidas, pois esse íon é carregado pela água até a superfície da raiz via fluxo de massa. O nitrato move-se para a periferia da frente de molhamento.

maior ou menor proporção. Outra característica do nitrogênio é sua alta mobilidade no solo, principalmente na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Haynes, 1990).

## **Características de alguns compostos nitrogenados**

### **Amônio**

O cátion amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), aplicado em baixa concentração, irá adsorver-se aos coloides do solo, movendo-se pouco no perfil em relação ao ponto de aplicação. Dependendo da taxa de aplicação, a concentração dos íons amônio pode ser alta e, nesse caso, eles podem saturar os sítios de troca no solo ao longo do perfil e com isso mover-se gradativamente em profundidade (Villas Boas et al., 1999).

Normalmente, a maior parte do amônio no solo será transformada biologicamente em nitrato, em 2 a 3 semanas, numa temperatura do solo de 25 °C a 30 °C. No entanto, especificamente para aplicação localizada, essas transformações podem ser mais demoradas na zona logo abaixo do emissor devido à alta concentração de amônio e porque o processo de nitrificação necessita de  $\text{O}_2$ , elemento que nessas regiões ocorre em menor concentração por ser o local do bulbo molhado com maior umidade do solo. Concentrações de amônio próximas de 400 mg N  $\text{kg}^{-1}$  a 800 mg N  $\text{kg}^{-1}$  são suficientes para inibir a nitrificação (Sousa et al., 2011).

### **Ureia**

A molécula de ureia, antes de se hidrolisar no solo, não apresenta carga, o que a torna inicialmente móvel. Após a hidrólise e a formação do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), o movimento do N torna-se restrito. A conversão de ureia em amônio é dependente de uma série de fatores. Há resultados de estudos em que 50% da ureia foi convertida em  $\text{NH}_4^+$  com 3 horas após a aplicação (60 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ ). Nesse caso, toda a ureia foi hidrolisada com 48 horas após a aplicação (Freney et al., 1985).

### **Nitrato**

Embora as plantas absorvam prontamente o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) amônio e ureia, as espécies  $\text{C}_4$  apresentaram maior eficiência de absorção e assimilação de ureia. As respostas para o nitrato são normalmente mais rápidas, pois esse íon é carregado pela água até a superfície da raiz via fluxo de massa. O nitrato move-se para a periferia da frente de molhamento.

**Tabela 1.** Composição dos fertilizantes mais usados para fertirrigação.

Fertilizante	Composição				Fórmula	pH	Solubilidade a 20 °C (g 100 mL <sup>-1</sup> )
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Outros			
Nitrato de amônio <sup>1</sup>	34	0	0	--	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	6,6	118
Sulfato de amônio <sup>1</sup>	21	0	0	24% S	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,4	71
Amônia anidra <sup>1</sup>	82	0	0	--	NH <sub>3</sub>	--	38
Nitrato de cálcio <sup>1</sup>	15,5	0	0	19% Ca	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4,0-8,0	102
Nitrato de magnério <sup>1</sup>	11	0	0	9,5% Mg	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	7,5	72
Ureia <sup>1</sup>	46	0	0	--	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	8,0-8,5	100
Fosfato monoamônio (MAP) <sup>2</sup>	12	61	0	--	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	4,7	37
Fosfato dianômio (DAP) <sup>2</sup>	16	46	0	--	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	--	40
Fosfato de ureia <sup>2</sup>	17	44	0	--	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	2,0	62
Ácido fósforico <sup>2</sup>	0	53	0	--	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	2,3	46
Fosfato de monobásico de potássio (MKP) <sup>3</sup>	0	52	34	--	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	4,5	22
Cloreto de potássio <sup>3</sup>	0	0	60	46% Cl	KCl	6,7	32
Nitrato de potássio <sup>3</sup>	13	0	46	--	KNO <sub>3</sub>	8,0	34
Sulfato de potássio <sup>3</sup>	0	0	50	18% S	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,4	11
Ácido bórico <sup>4</sup>		17,5% B		--	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	--	6

Continua...

Continuação.

Fertilizante	Composição				Fórmula	pH	Solubilidade a 20 °C (g 100 mL <sup>-1</sup> )
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Outros			
Solubor <sup>4</sup>		20% B		--	Na <sub>2</sub> B <sub>8</sub> O <sub>13</sub> 4H <sub>2</sub> O	--	22
Sulfato de cobre (acidificado) <sup>4</sup>		25% Cu		--	CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	--	31
Sulfato de ferro (acidificado) <sup>4</sup>		20% Fe		--	FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	--	16
Sulfato de manganês (acidificado) <sup>4</sup>		27% Mn		--	MnSO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O	--	105
Molibdato de amônio <sup>4</sup>		54% Mo		--	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> 4H <sub>2</sub> O	--	43
Molibdato de sódio <sup>4</sup>		39% Mo		--	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	--	56
Sulfato de zinco <sup>4</sup>		36% Zn		--	ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	--	96
Quelato de zinco <sup>4</sup>		5-14% Zn		--	DTPA & EDTA	--	Alta
Quelato de manganês <sup>4</sup>		5-12% Mn		--	DTPA & EDTA	--	Alta
Quelato de ferro <sup>4</sup>		4-14% Fe		--	DTPA, HOEDTA & EDDHA	2,3	46
Quelato de cobre <sup>4</sup>		5-14% Cu		--	DTPA & EDTA	4,5	22
				Outros			
Sulfato de magnésio	9,7% Mg; 12,8% S			--	MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	6,5	20

<sup>1</sup>Fertilizantes nitrogenados.<sup>2</sup>Fertilizantes fosfatados.<sup>3</sup>Fertilizantes potássicos.<sup>4</sup>Micronutrientes.

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

Dependendo da fonte e modo de aplicação, o nitrogênio está sujeito a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação. Na lixiviação, o nitrato é carreado na água de irrigação ou de chuva para as regiões mais profundas do solo, longe do acesso das raízes. Dependendo da intensidade das chuvas ou da irrigação, o nitrato poderá alcançar o lençol freático, vindo a contaminar os mananciais de água.

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

O balanço nitrato/amônio pode ter importância na absorção de outros íons. As plantas jovens (até 3 semanas) ainda não desenvolveram a enzima nitrato redutase. Por este motivo, o amônio é a forma de N mais importante nessa fase do cultivo. Já no final do ciclo, a absorção de fonte amoniacal diminui a absorção de Ca, o que afeta a qualidade dos frutos (Villas Boas et al., 1999). Assim, a aplicação destas fontes de N deve ser equilibrada para atender a demanda de espécies anuais e perenes nas diferentes fases do cultivo.

### **Fertilizantes potássicos**

O potássio (K) é absorvido pelas plantas na forma de  $K^+$ . Participa de processos fisiológicos durante todo o ciclo de cultivo sendo elevadas as quantidades removidas pelos frutos e imobilizadas na planta. Os fertilizantes potássicos apresentam menor solubilidade que os nitrogenados, não existindo, contudo, limitações para a sua aplicação via água de irrigação. Dentre as fontes de potássio para fertirrigação, destacam-se o cloreto, o sulfato e o nitrato de potássio (Tabela 1). O cloreto e o nitrato de potássio possuem alta solubilidade, enquanto o sulfato de potássio, além de ser menos solúvel, possibilita a formação de sulfato de cálcio, ainda menos solúvel, quando a água de irrigação é rica em cálcio e magnésio (mais de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ). O cloreto é a fonte mais usada, por apresentar o menor custo por unidade de  $\text{K}_2\text{O}$ .

O movimento de potássio no solo depende do tipo de solo e, na maioria dos casos, move-se com limitação. O K pode ser lixiviado em solos arenosos e

com baixa CTC; porém, quando se aplicam doses não elevadas de fertilizantes, perdas por lixiviação são extremamente baixas para a maioria das condições. O K pode movimentar-se no perfil do solo quando ocorrer concentração do elemento próximo ao emissor, com aplicações frequentes de potássio via água de irrigação (Villas Boas et al., 1999).

Em relação à compatibilidade, a mistura de cloreto de potássio com outra fonte contendo sulfato poderá diminuir a disponibilidade do K, pois poderá haver formação de  $K_2SO_4$ , que apresenta solubilidade três vezes menor que o KCl (Villas Boas et al., 1999). Dessa forma, deve ser observada a compatibilidade e o limite de solubilidade das fontes de potássio entre si e com outros fertilizantes, com o objetivo de prevenir danos ao sistema de irrigação como, entupimento de emissores e de tubulações.

### **Fertilizantes fosfatados**

O fósforo (P), que é absorvido principalmente na forma de  $H_2PO_4^-$ , caracteriza-se por apresentar baixa mobilidade no solo, devido à sua alta capacidade de interação com os colóides do solo, por meio do mecanismo denominado adsorção (Casagrande; Camargo, 1997). Esse nutriente é adsorvido pelos colóides do solo, o que reduz temporariamente a sua disponibilidade para as plantas. Consequentemente, o seu movimento no solo é limitado. Isso ocorre com maior frequência em solos de textura argilosa, principalmente os mais intemperizados, que ocorrem em regiões tropicais. No entanto, várias fontes e métodos de aplicação de fósforo são empregados com o objetivo de evitar, pelo menos parcialmente, os problemas de distribuição desse elemento no solo. As fontes inorgânicas de P têm diferenças quanto ao conteúdo de P e também quanto à solubilidade na água de irrigação. As fontes mais purificadas e portanto, mais solúveis, apresentam maior custo.

A maioria dos adubos fosfatados convencionais apresenta baixa solubilidade e facilidade de precipitação, causando entupimento nos sistemas de irrigação. Independente da qualidade do fertilizante fosfatado, deve-se observar o pH e a presença de cálcio na água de irrigação, a textura do solo e a compatibilidade com outros nutrientes (Silva; Borges, 2009). Com o crescimento da utilização dos métodos de irrigação localizada, a aplicação de fósforo ao solo passou a ser realizada via fertirrigação, na forma de ácido fosfórico e outras fontes solúveis (Tabela 2). O ácido fosfórico é um fertilizante apresentado na forma líquida, que possui de 46% a 76% de  $P_2O_5$ , densidade  $1,68 \text{ g cm}^{-3}$ , solubilidade  $457 \text{ g L}^{-1}$  e pH 2,3. Apresenta como características marcantes alta solubilidade e elevada acidez.

Burt et al. (1995) recomendam que a aplicação de fontes de fósforo na água de irrigação seja realizada com fertilizantes ácidos, em sistemas de irrigação

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

Outras fontes de fósforo empregadas na fertirrigação são o MAP (fosfato monoamônio) e o DAP (fosfato diamônio), além de MKP ou PeaK (fosfato monopotássico) e fosfato de ureia (Tabela 1), que apresentam custo mais elevado.

Na fertirrigação com MAP, DAP ou ácido fosfórico, é importante conhecer a concentração de cálcio e magnésio e também de bicarbonatos da água de irrigação, para evitar problemas de precipitação e entupimento. Se a água for ácida, não há limitação para o uso do DAP, porém, caso haja Ca e o pH for superior a 7, deve-se utilizar o MAP, que tem efeito acidificante, o que leva a uma redução do pH. Outra possibilidade é o uso do ácido fosfórico concentrado. A quantidade aplicada deve ser suficiente para abaixar o pH, porém, há um limite para que não propicie a corrosão de peças metálicas do sistema de irrigação. Recomenda-se que a soma das concentrações de cálcio e de magnésio não ultrapasse  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , e a concentração de bicarbonatos seja inferior a  $150 \text{ mg L}^{-1}$  (Vidal, 2007).

No geral, a aplicação de fósforo por meio da irrigação por gotejamento requer cuidados e conhecimentos técnicos. Os sistemas de irrigação localizada são os mais adequados à aplicação de fósforo, devido à possibilidade de localizar o nutriente no volume de solo ocupado pelo sistema radicular.

### **Movimentação de fósforo no solo**

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

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

### **Fertilizantes contendo cálcio, magnésio e enxofre (S)**

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

O nitrato de cálcio é a fonte de Ca mais solúvel. Recomenda-se adicionar ácido nítrico concentrado na base de 0,3 L kg<sup>-1</sup> de nitrato de cálcio, quando o pH da água de irrigação for superior a 6,5 (Villas Boas et al. 1999).

Dos produtos que apresentam magnésio, normalmente se utiliza o sulfato como fonte de magnésio, dada a sua boa solubilidade. As formas quelatizadas de magnésio, apesar de terem custos mais elevados, são boas alternativas. Como regra geral, tanto o cálcio quanto o magnésio devem ser aplicados antes do plantio, por meio da calagem, e apenas complementados via fertirrigação.

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

### **Fertilizantes contendo micronutrientes**

Sulfatos e quelatos contendo micronutrientes são os compostos geralmente utilizados para corrigir deficiências dos cátions micronutrientes. Os boratos solúveis são as principais fontes de boro (B). Em função da facilidade de lixiviação que esse nutriente apresenta, o seu parcelamento é a prática mais recomendada.

Micronutrientes como Zn, Fe, Cu e Mn podem reagir com sais da água de irrigação e causar precipitação e entupimento dos emissores. Por isso, em muitos casos, esses micronutrientes são aplicados como quelatos, que são facilmente solúveis e causam poucos problemas de precipitação e entupimento. No solo, os micronutrientes quelatizados reagem menos e por isso apresentam maior mobilidade do que os sais. Como estes produtos apresentam custo elevado, a utilização dos quelatos em fertirrigação requer maior atenção com relação ao manejo da sua aplicação, que vai desde a qualidade da água (pH, condutividade elétrica) e da lâmina aplicada, até a compatibilidade com outros produtos (Villas Boas et al. 1999).

## Solubilidade dos fertilizantes

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

Na Tabela 2 são apresentadas as solubilidades de vários fertilizantes à temperatura de 20 °C. A própria mistura de fertilizantes pode promover a redução da temperatura da água, em função da absorção de calor nas reações de dissolução. É o que ocorre quando fertilizantes nitrogenados são solubilizados.

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

**Tabela 2.** Solubilidade de alguns fertilizantes a 20 °C<sup>1</sup>.

Fertilizante	Solubilidade <sup>2</sup>
<b>Nitrogenados (N)</b>	
Nitrato de amônio	118
Nitrato de cálcio	102
Sulfato de amônio	71
Ureia	78
Nitrato de sódio	73
Soluções nitrogenadas	Alta
Uran	Alta
<b>Fosfatados (P)</b>	
Superfosfato simples	2

Continua...

Continuação.

Fertilizante	Solubilidade <sup>2</sup>
Superfosfato triplo	4
Nitrato de cálcio	102
Ácido fosfórico	45,7
<b>Potássicos</b>	(K)
Cloreto de potássio	34
Sulfato de potássio	11
<b>N e P</b>	
MAP	23
MAP purificado	37
DAP	40
<b>N e K</b>	
Nitrato de potássio	32
<b>Ca e Mg</b>	
Cloreto de cálcio pentahidratado	67
Sulfato de magnésio	71
Gesso	0,241
<b>Micronutrientes</b>	
Bórax	5
Molibdato de amônio	40
Molibdato de sódio	56
Sulfato de cobre	22
Sulfato de cobre pentahidratado	24
Sulfato de ferro	24
Sulfato ferroso	33
Sulfato de manganês <sup>s</sup>	105
Sulfato manganoso	742
Sulfato de zinco	75
Quelatos (Fe, Cu, Mn e Zn) EDTA, DTPA	Alta

<sup>1</sup>Fonte: Vitti et al. (1994).

<sup>2</sup>Fertilizantes Partes solubilizadas em 100 partes de água a 20 °C.

Deve-se, também, estar atento a fertilizantes que apresentem:

- 1) Condicionadores — Usados para prevenir a quebra dos grânulos.
- 2) Substâncias como óleo ou parafina — revestem os fertilizantes que têm problemas de higroscopicidade.
- 3) Argilas presentes nos adubos fluidos — mantêm o potássio em suspensão.
- 4) Impurezas, como óxido de ferro, presentes no cloreto de potássio vermelho.

Fertilizantes com estas características devem ser evitados em fertirrigação. Em termos de características físicas dos fertilizantes sólidos para uso em fertirrigação, deve-se dar preferência àqueles que se apresentam na forma de cristais, pois em função do tamanho de grânulo reduzido, solubilizam-se mais facilmente em relação aos granulados (Villas Boas et al., 1999).

### **Compatibilidade dos fertilizantes**

A compatibilidade entre os adubos e destes com os íons presentes na água de irrigação é outro fator de suma importância. No preparo das soluções muitas, vezes é necessário misturar mais de uma fonte. Nesse caso, deve-se recorrer aos quadros de compatibilidade como o da Figura 8, a fim de se certificar se a mistura pode ou não ser realizada.

Como regra geral, o íon sulfato é incompatível com cálcio e os fosfatos com cálcio e magnésio. Do mesmo modo, águas ricas em cálcio e magnésio podem formar compostos insolúveis com fósforo e sulfato. A aplicação de fertilizantes incompatíveis (por exemplo,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) devem ser feitas a partir de tanques independentes ou aplicados em momentos diferentes, de modo que não haja contato entre as soluções concentradas desses fertilizantes. Sempre que forem feitas misturas de fertilizantes diferentes dos utilizados convencionalmente, deve-se fazer o “teste da jarra”, que consiste em se misturar os fertilizantes em uma proveta transparente, ou mesmo uma jarra, na mesma proporção que será utilizada no reservatório, esperando-se por 2 horas após a mistura. 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 2 horas, a ocorrência de precipitação ou turbidez acentuada na solução. Se a solução permanecer clara e transparente será, provavelmente, seguro injetar os fertilizantes testados. Se não ocorrer a formação de precipitado, a mistura poderá ser feita sem problemas (Villas Boas et al., 1999).

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

<sup>1</sup>C = Compatível; R = Solubilidade reduzida; I = Incompatível.

**Figura 8.** Solubilidade de misturas de fertilizantes líquidos (algumas formulações são incompatíveis em concentrações na solução estoque, devendo ser evitadas).  
Fonte: Landis (1989).

### Efeito do fertilizante no pH da solução e no pH do solo

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

No solo, poderão ocorrer mudanças nas propriedades físicas e químicas, dependendo dos produtos utilizados, principalmente com a mudança no pH, que ocorrem normalmente com redução (acidificação), devido ao aumento de íons de hidrogênio ( $H^+$ ) pela oxidação feita por bactérias no  $NH_4^+$  das fontes nitrogenadas (Villas Boas et al., 1999).

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

Outro fator que afeta o pH do solo na interface solo-raiz é a razão  $NH_4^+/NO_3^-$  da solução fertirrigada. Quando o  $NH_4^+$  predomina,  $H^+$  é excretado de

da raiz e acidifica a solução do solo. Quando  $\text{NO}_3^-$  é o íon mais absorvido, o  $\text{OH}^-$  ou  $\text{HCO}_3^-$  são liberados para a solução do solo, e o pH do solo aumenta. Portanto, as diferentes relações  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  apresentam efeitos diferentes sobre o desenvolvimento das raízes (Villas Boas et al., 1999).

### **Salinidade e potencial salino dos fertilizantes**

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

O intemperismo das rochas ao longo do tempo e a aplicação de fertilizantes e água dão origem aos sais solúveis no solo. Em regiões chuvosas, a maioria dos sais são lixiviados, enquanto em regiões áridas ou semiáridas os níveis de sais acumulados podem ser elevados.

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

O potencial salino é maior quanto mais seco estiver o solo e uma das formas de minimizar o problema é manter o solo úmido o maior tempo possível. Por isso, em casos em que a salinidade pode ser considerada um problema, deve-se adotar irrigações mais frequentes, com menores volumes de água por aplicação.

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

## Exemplos de cálculo na fertirrigação

Muitos irrigantes que imaginam estar fazendo a fertirrigação adequadamente, às vezes estão colocando produtos a mais ou a menos no solo ou na água, o que pode contribuir para o desequilíbrio nutricional nas culturas, perdas de qualidade dos produtos e de produtividade, toxidade nas culturas e contaminação do ambiente.

Existem várias formas para estimar as quantidades de nutrientes que serão colocadas na água de irrigação (Vidal, 2007):

1) Preparo de soluções a partir de concentrações pré-estabelecidas para as culturas. Este sistema é bastante utilizado para cultivos de hortaliças em substratos inertes.

2) Soluções calculadas a partir da demanda das culturas, considerando-se a concentração de nutrientes no solo. Neste caso, é preciso avaliar a disponibilidade de nutrientes em extensão e profundidade das camadas de solo que podem ser exploradas pelo sistema radicular efetivo das culturas.

3) Soluções calculadas a partir da extração de nutrientes pelas culturas. Com base em tabelas que informam a quantidades de macro e micronutrientes extraídas pelas culturas, as quantidades de nutrientes que devem ser aplicadas na fertirrigação visam fornecer os nutrientes necessários para suprir a extração para um determinado valor de colheita.

4) Soluções calculadas a partir da produtividade das culturas, da disponibilidade de nutrientes no solo e sua concentração nos tecidos vegetais. São utilizadas informações sobre a produtividade esperada na próxima safra, assim como a concentração de nutrientes disponíveis no solo e do estado nutricional da cultura, ou seja, se a concentração dos nutrientes nas plantas encontra-se deficiente, adequada ou em excesso.

De acordo com o que foi explanado anteriormente, a primeira opção é mais adequada para cultivos protegidos, sendo considerada a demanda da cultura a partir da curva de absorção de nutrientes e da lâmina de lixiviação, uma vez que não chove dentro da estufa, não ocorrendo a lixiviação dos fertilizantes. A segunda e terceira podem ser aplicadas em condições experimentais e de cultivos comerciais, e a última é a mais prática pela utilização de parâmetros semelhantes à adubação convencional (Vidal, 2007).

Contudo, qualquer que seja a forma utilizada para realizar os cálculos da necessidade de nutrientes a ser aplicada na fertirrigação, o resultado da análise de água de irrigação deve ser considerado nestes cálculos, uma vez que a composição da água é fundamental para a tomada de decisão sobre a nutrição da cultura, a viabilidade da fertirrigação e o risco de salinização ou alcalinização do solo.

### Exemplo 1

Calcular as quantidades de fertilizantes a ser aplicado via água de irrigação para a cultura da melancia [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum & Nakai] com as seguintes recomendações: 150 kg ha<sup>-1</sup> de N; 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Dispõe-se dos seguintes produtos:

- 1) Fosfato diamônio (DAP): 16% de N e 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
- 2) Nitrato de potássio: 13% de N; 46% de K<sub>2</sub>O.
- 3) Ureia: 46% de N.

a) O cálculo deve ser iniciado pelo nutriente demandado em menor quantidade. Considerando-se o cálculo da dosagem de fósforo, o fosfato diamônio possui nitrogênio (16%) e fósforo (46%). Calculando, tem-se:

Fosfato diamônio:

100 kg fosfato diamônio	46 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
X	140

$$X = 100 \times 140 / 46 = 304,35 \text{ kg de fosfato diamônio.}$$

Para calcular a quantidade de N em 304,35 kg de fosfato diamônio, tem-se:

100 kg fosfato diamônio	16 kg N
304,35	X

$$X = 304,35 \times 16 / 100$$

$$X = 48,7 \text{ kg de N}$$

b) Dando continuidade, realiza-se o cálculo para o K, nutriente demandado em segundo lugar. Tem-se o nitrato de potássio (46% de K<sub>2</sub>O e 13% de N):

Nitrato de potássio:

100 kg nitrato de potássio	46 K <sub>2</sub> O
X	120

X = 260,87 kg nitrato de potássio.

Para calcular a quantidade de N em 260,87 kg de nitrato de potássio, tem-se:

100 kg nitrato de potássio	13 kg N
260,87	X

X = 34 kg de N.

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

$$150 \text{ kg} - 48,7 \text{ kg} - 34 \text{ kg} = 67,3 \text{ kg.}$$

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

100 kg ureia	46 kg N
X	67,3

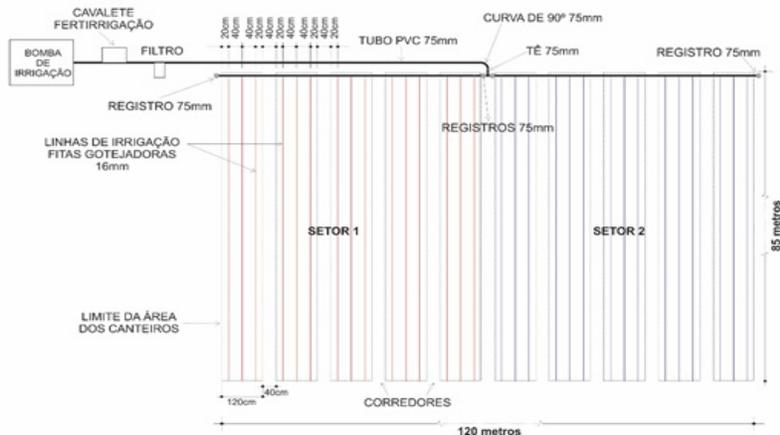
$$X = (100 \times 67,3) / 46$$

X = 146,3 kg ureia.

Deve-se aplicar por hectare cultivado: 304,35 kg de fosfato diamônio, 260,87 kg de nitrato de potássio e 146,3 kg de ureia.

## Exemplo 2

Calcular a concentração de nutrientes na água de irrigação em uma área de um hectare, com dimensões de 120 m por 85 m, cultivada com a cultura de cebola (*Allium cepa* L.), irrigada por gotejamento, contendo 75 canteiros (Figura 9). Em cada canteiro instalou-se três linhas de gotejadores, com emissores espaçados de 0,30 m e vazão de um litro por hora (1 L h<sup>-1</sup>). A concentração natural de N na água igual a 12 ppm. Deseja-se que a concentração de N, na forma de ureia, na água de irrigação, seja igual a 80 ppm. Pede-se calcular a quantidade de ureia a ser colocada em um tanque de 200 L com o injetor tipo Venturi, com vazão média de sucção de 400 L h<sup>-1</sup>.



**Figura 9.** Esquema do sistema de irrigação por gotejamento para uma área com dimensões de 120 m x 85 m.

Dados:

$q_1$  (vazão do sistema de irrigação): = ?

a) Cálculo do total de linhas de gotejadores:

$75 \times 3 = 225$  linhas de gotejadores.

b) Cálculo do número total de emissores:

$85/0,30 = 284 \times 225 = 63.900$  emissores.

c) Cálculo da vazão total do sistema irrigação:

$q_1 = 63.900 \times 1 = 63.900 \text{ L h}^{-1}$ .

$C_1$  (concentração natural de N na água de irrigação): 12 ppm<sup>1</sup>.

$q_2$  (vazão do injetor): 400 L h<sup>-1</sup>.

$C_2$  (concentração a ser colocada no tanque): ?

$C_3$  (concentração desejada na água de irrigação): 80 ppm (0,00008 kg de N por kg de água).

$q_3$  (vazão do sistema de irrigação mais vazão do injetor):  $(63.900 + 400) = 64.300 \text{ L h}^{-1}$ .

<sup>1</sup>ppm: partes por milhão. 1 ppm = 1 mg kg<sup>-1</sup> ou 1 mg L<sup>-1</sup>. Considerando-se a densidade da água igual a 1, consequentemente 1 L de água é igual a 1 kg. Portanto, 12 ppm pode ser escrito como 0,000012 kg de N por kg de água.

Solução:

a) Cálculo da concentração no tanque de mistura:

Pela equação da conservação da massa, tem-se:

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

$$C_2 = \frac{(q_3 C_3) - (q_1 C_1)}{q_2} = \frac{(64300 \times 0,000080) - (63900 \times 0,000012)}{400} = 0,0109 \text{ kg}$$

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

$$QN = Vt Ct = 200 \times 0,0109 = 2,1886 \text{ kg de N}$$

Como a água já possui 12 ppm de N que corresponde a 0,0024 kg de N ( $200 \times 0,000012$ ), deve-se acrescentar no tanque apenas 2,1862 kg de N ( $2,1886 - 0,0024$ ). A quantidade de ureia (46% de N) será:

$$\text{Ureia} = \frac{2,1862 \times 100}{46} = 4,75 \text{ kg de ureia}$$

### Exemplo 3

Planejamento da fertirrigação para um ciclo da cultura do melão

a) Informações do cultivo

Área: 1,8 ha dividida em quatro setores de tamanho igual.

Sistema de irrigação: gotejamento.

Injeção de fertilizantes: na entrada de cada setor.

b) Fertilizantes disponíveis:

Ureia: 46% de N.

MAP: 12% de N, 61% de  $P_2O_5$ .

Cloreto de potássio: 60% de  $K_2O$ .

A partir dos resultados de análise de solo (Tabela 3) são definidas as quantidades de fertilizantes para a cultura irrigada do melão (Tabela 4).

**Tabela 3.** Resultado de análise de solo – Laboratório de Solos e Análise Foliar da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

CE	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CTC
dS m <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
1,19	8,2	9,6	26,9	0,39	14,14	3,5	0,19	0,00	0,00	18,48	18,48

**Tabela 4.** Quantidades de fertilizantes recomendadas para a cultura do melão (*Cucumis melo* L.) irrigado.

Doses recomendadas de acordo com a análise de solo (kg ha <sup>-1</sup> )	Quantidade de adubo por 1,8 ha (em kg)	Quantidade de adubo por setor (kg por setor)
N	90 MAP	118 MAP
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40 Ureia	321,4 Ureia
K <sub>2</sub> O	40 Cloreto de potássio	120 Cloreto de potássio
17	44 --	CO(NH <sub>2</sub> )H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 2,0
0	53 --	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 2,3
0	52 --	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 4,5
0	0 46% Cl	KCl 6,7
13	0 --	KNO <sub>3</sub> 8,0
0	0 18% S	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3,4
17,5% B	--	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> 6

Fonte: Cavalcante et al. (2008).

c) Manejo da adubação três vezes por semana, com distribuição durante o ciclo, conforme mostrado na Tabela 5.

MAP: 3 a 21 dias após a germinação.

Ureia: 3 a 21 dias após a germinação; 28 a 42 dias após a germinação.

Cloreto de potássio: 3 a 21 dias após a germinação; 28 a 55 dias após a germinação.

**Tabela 5.** Distribuição dos fertilizantes durante o ciclo de produção.

Período	Aplicações	Fertilizantes (kg setor <sup>-1</sup> )		
		MAP	Ureia	Cloreto de potássio
1ª semana	1ª	3,3	4,5	1,0
	2ª	3,3	4,5	1,0
	3ª	3,3	4,5	1,0
2ª semana	1ª	3,3	4,5	1,0
	2ª	3,3	4,5	1,0
	3ª	3,3	4,5	1,0
3ª semana	1ª	3,3	4,5	1,0
	2ª	3,3	4,5	1,0
	3ª	3,3	4,5	1,0
4ª semana	1ª	--	--	--
	2ª	--	--	--
	3ª	--	--	--
5ª semana	1ª	--	6,7	1,8
	2ª	--	6,7	1,8
	3ª	--	6,7	1,8
6ª semana	1ª	--	6,7	1,8
	2ª	--	6,7	1,8
	3ª	--	6,7	1,8
7ª semana	1ª	--	--	1,8
	2ª	--	--	1,8
	3ª	--	--	1,8
8ª semana	1ª	--	--	1,8
	2ª	--	--	1,8
	3ª	--	--	1,8

Durante a quarta semana, não está prevista a aplicação de fertilizantes, para que sejam realizados ajustes no plano de fertirrigação, em função de características do cultivar de melão, precoce ou tardia, e principalmente da época do ano, pois o cultivo no primeiro semestre é mais longo que no segundo semestre. Este ajuste também visa antecipar a fertirrigação da cultura no segundo semestre, quando as condições de luz e temperatura são intensas, principalmente dos cultivares de ciclo curto.

### **Cálculo da lâmina de água a ser aplicada**

Para fazer a fertirrigação, devemos calcular a lâmina de água a ser aplicada pela irrigação. Considerando a cultura do melão, com espaçamento de 1,8 m entre linhas de plantas e 0,4 m entre plantas na linha; fase de desenvolvimento vegetativo da cultura, cujo coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é igual a 0,6; vazão do emissor  $1,0 \text{ L h}^{-1}$ , com dois emissores por planta espaçados de 0,20 m; evapotranspiração potencial ( $E_{To}$ ) determinada por estação meteorológica automática igual a  $6,51 \text{ mm dia}^{-1}$ ; fator de cobertura 1, com 75% ou mais de cobertura; eficiência de irrigação ( $E_i$ ) igual a 90%. O tempo de irrigação será:

Cálculos:

Cálculo da evapotranspiração da cultura:

$$E_{Tc} = ?$$

$$E_{Tc} = E_{To} \times K_c$$

$$E_{Tc} = 6,51 \times 0,6 = 3,91 \text{ mm dia}^{-1}$$

Cálculo da lâmina bruta (LB)

$$LB = E_{Tc}/E_i$$

$$LB = 3,91/0,90 = 4,34 \text{ mm dia}^{-1}$$

Tempo de Irrigação

$$TI = VOL/nq$$

$$VOL = LB \times F_c \times A_p$$

$$A_p = 1,8 \times 0,4 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$VOL = 4,34 \times 1 \times 0,72$$

$$VOL = 3,12 \text{ Litros}$$

$$TI = 3,12/(2 \times 1) \gg TI = 1\text{h}34\text{min.}$$

## Considerações sobre o manejo da fertirrigação

Admitindo-se um tempo de deslocamento da solução contendo nutrientes entre o ponto de injeção de fertilizante até o último emissor igual a 12 minutos e o tempo para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação de 15 minutos, pode-se adotar para a presente situação o seguinte procedimento:

Tempo para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação: 16 minutos.

Tempo para distribuição dos fertilizantes e lavagem do sistema de irrigação: 18 minutos.

Tempo para aplicação dos fertilizantes: 60 minutos.

Concentração de N na água a ser usada na irrigação: 5 ppm.

Concentração de N na água de irrigação (máxima): 300 ppm.

Área a ser irrigada: 1,8 ha.

Número de setores: 4.

Dimensões da área: 220 m x 80 m.

Dimensões de cada setor: 55 m x 80 m.

Número de linhas laterais: 30, espaçada de 1,8 m.

Comprimento da linha lateral: 80 m.

Número de emissores por lateral: 400.

Espaçamento entre emissores: 0,20 m.

Número total de emissores por setor: 12.000.

Vazão do injetor tipo Venturi: 200L h<sup>-1</sup>.

Volume do tanque de dissolução de nutrientes: 200 L.

Dados:

$q_1$  (vazão do sistema de irrigação): 12 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> = 12.000 L h<sup>-1</sup>.

$C_1$  (concentração natural de N na água de irrigação): 5 ppm, correspondendo a 5 mg L<sup>-1</sup> e 0,000005 kg L<sup>-1</sup>.

$q_2$  (vazão do injetor): 200 L h<sup>-1</sup>.

$C_2$  (concentração a ser colocada no tanque): ?

$C_3$  (concentração desejada na água de irrigação): 300 ppm (0,00030 kg de N por litro de água).

$q_3$  (vazão do sistema de irrigação mais vazão do injetor): 12.000 + 200 = 12.200 L h<sup>-1</sup>.

Solução:

a) Cálculo da concentração no tanque de mistura:

Pela equação da conservação da massa, tem-se:

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

$$C_2 = \frac{(q_3 \cdot C_3) - (q_1 C_1)}{q_2} = \frac{(12200 \times 0,0003) - (12000 \times 0,000005)}{200} = 0,015 \text{ kg}$$

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

$$QN = V_{\text{tanque}} C_{\text{tanque}} = 200 \times 0,018 = 3,6 \text{ kg de N.}$$

Como a água já possui 5 ppm de N que corresponde a 0,001 kg de N (200 x 0,000005), deve-se acrescentar no tanque apenas 3,599 kg de N (3,6 – 0,001). A quantidade de ureia (45% de N) será:

$$\text{Ureia} = \frac{3,599 \times 100}{45} = 8,0 \text{ kg de ureia}$$

A quantidade máxima de ureia que deve ser dissolvida no tanque é 8,0 kg. Pela Tabela 5, a maior quantidade de ureia a ser aplicada é 6,9 kg; consequentemente, as condições especificadas são atendidas, pois podemos aplicar até 8,0 kg de ureia em cada fertirrigação.

As lâminas de água a serem aplicadas devem ser calculadas para cada estágio desenvolvimento da cultura, com os respectivos coeficientes de cultura (kc), fator de cobertura do solo (Fc) e evapotranspiração de referência, em função das alterações dos parâmetros climáticos.

#### **Exemplo 4**

Fertirrigação em videira de mesa sem sementes

Neste exemplo, será mostrado o cálculo de fertirrigação para a videira de mesa sem sementes, na fase de produção.

#### **Informações sobre o cultivo**

Cultura: videira.

Cultivar: Sugaone.

Espaçamento: 3 m x 2 m (1.666 plantas ha<sup>-1</sup>).

Idade: 2 anos (segundo ciclo de produção).

Produtividade esperada: 25 t ha<sup>-1</sup>.

Sistema de irrigação: gotejamento, uma linha de distribuição com emissores espaçados de 0,5 m e vazão de 4 L h<sup>-1</sup>.

Textura do solo: arenosa.

Por questão de praticidade na obtenção das informações, o método utilizado será aquele que considera a produtividade esperada (Tabela 6) e os resultados de análise de solo e de tecido vegetal.

Observações:

1) Uvas de mesa sem semente apresentam baixa demanda por nitrogênio e maior demanda por potássio em relação àquelas com sementes. Por este motivo, as doses de N a serem aplicadas na fase de produção serão definidas em função do vigor da planta e do porta-enxerto (Tabela 7). As doses de potássio serão aumentadas em 30% nestas cultivares em relação às uvas com sementes.

2) Para exemplificar, considerando-se que as plantas apresentam vigor da copa médio e o porta-enxerto é muito vigoroso, o que equivale à dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N.

3) As doses de P e K serão definidas em função da produtividade esperada e da textura do solo, no caso de fósforo. Considerando-se a textura arenosa, produtividade esperada de 25 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 6) e os teores de P (Tabela 8), este valor equivale a 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Para o potássio, além da produtividade esperada, será necessário avaliar os teores de potássio disponíveis no solo ou a saturação de potássio em relação a CTC. Assim, as doses de K<sub>2</sub>O foram definidas em 150 kg ha<sup>-1</sup> em função da saturação de potássio no solo, de 7,7 %, e da produtividade esperada de 25 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 6).

A aplicação de micronutrientes deve ser realizada com base nos resultados da análise foliar, pois, para alguns nutrientes, como B e Zn, a análise de solo informa sobre presença do nutriente, mas não informa sobre a sua disponibilidade para a planta, que é melhor refletida nas folhas. Os teores de K, Ca, Mg e S (Tabela 9) estão abaixo do padrão recomendado para a videira, principalmente os teores de K e Mg. Os três primeiros serão aplicados via fertirrigação como íons principais e o último, o enxofre, como íon acompanhante (Cavalcanti, 2008).

**Tabela 6.** Quantidades de nitrogênio (N), fósforo e potássio indicadas para a adubação de produção para uvas com e sem sementes, em função da produtividade estimada e da disponibilidade de nutrientes no solo.

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

Fonte: Cavalcanti (2008).

**Tabela 7.** Doses de nitrogênio (N) indicadas para a adubação de produção de uvas sem semente.

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

Fonte: Cavalcanti (2008).

**Tabela 8.** Resultados de análise de solo - Laboratório de Solos e Análise Foliar da Embrapa Semiárido.

CE	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
dS m <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					-----		%	mg dm <sup>-3</sup>				
0,2	6,9	12,3	70	0,39	2,6	1,0	0,03	0,05	0,99	4,02	5,01	80	0,9	20	23	5

### Interpretação dos resultados de análise de solo e de folhas - Laboratório de Solos e Análise Foliar da Embrapa Semiárido

O solo apresenta textura arenosa, a CE do solo tem valor adequado, o pH está na faixa adequada, os teores de matéria orgânica são baixos, e os teores de P, K, Ca e Mg estão adequados ao cultivo da videira. A CTC apresenta valores médios e a saturação por base está adequada. Com relação aos micronutrientes, os teores de Mn e Zn no solo são altos (Tabela 8).

Nas folhas, os teores de K, Ca, Mg e S (Tabela 9) estão abaixo do padrão recomendado para a videira, principalmente os teores de K e Mg. Com relação aos micronutrientes, Cu e Fe apresentam valores próximos ao limite inferior, contudo não será realizada a reposição desses nutrientes neste ciclo de produção.

**Tabela 9.** Resultado de análise foliar - Laboratório de Solos e Análise Foliar da Embrapa Semiárido.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
30,2	2,7	5,0	11,1	2,6	2,7	54,3	18,0	97,0	220,0	32,0	60,0

**Tabela 10.** Recomendação de fertilizantes, fontes e forma de aplicação para o manejo nutricional da videira (*Vitis vinifera* L.) "Sugraone".

Nutriente	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte	Forma de aplicação
N	50	Nitrato de cálcio; ureia; nitrato de potássio	Fertirrigação
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40	Ácido fosfórico	Fertirrigação
K <sub>2</sub> O	150	Nitrato de potássio; sulfato de potássio	Fertirrigação
Mg	17	Sulfato de magnésio	Fertirrigação
S	--	Íon acompanhante	Fertirrigação
Fe	--	Fertilizante quelatizado	Fertirrigação
Cu	--	Defensivo	Pulverização
Zn	--	Fertilizante foliar	Pulverização

## Plano de irrigação

Na fase de produção, a fertirrigação da videira, assim como a fertilização via solo, é realizada em função das fases de desenvolvimento da planta (Figura 10).

Ilustração: José Cletis Bezerra



**IFigura 10.** Fenologia da videira: etapas de desenvolvimento da planta durante um ciclo de produção.

A distribuição dos nutrientes é realizada em função da demanda nas fases de desenvolvimento da planta (Tabela 11). São realizadas, aproximadamente, três aplicações por semana. A participação dos nutrientes em cada fase do ciclo de produção é apresentada na Tabela 12.

**Tabela 11.** Distribuição dos nutrientes durante o ciclo de produção.

Nutriente	Período (Dap*)	Número de aplicações
N, P, K, Mg	3 a 28	11
N	36 a 63	12
P, K, Mg	36 a 70	15
P, K	71 a 84	6

\*Dap: dias após a poda.

**Tabela 12.** Participação de nutrientes em cada fase do ciclo de produção.

Período (Dap*)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
	----- % -----			
3 a 28	60	20	20	50
36 a 63	40	--	--	--
36 a 70	--	60	70	50
71 a 84	--	20	10	--

\*Dap: dias após a poda.

### Cálculo da lâmina de água a ser aplicada

Para realizar a fertirrigação devemos calcular a lâmina de água a ser aplicada pela irrigação. Para a cultura da uva com espaçamento de 3 metros entre linhas de plantas e 2 metros entre plantas na linha, na fase de desenvolvimento vegetativo da cultura, cujo coeficiente de cultura ( $K_c$ ) seja igual a 1; vazão do emissor  $4 \text{ L h}^{-1}$ , com quatro emissores por planta espaçado de 0,50 metros; evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) determinada por estação meteorológica automática igual a 7,2 mm; fator de cobertura um, com 75% ou mais de cobertura e eficiência de irrigação igual a 85%. Para calcular o tempo de irrigação, o procedimento é o seguinte:

Cálculo da evapotranspiração da cultura:

$$ET_c = ?$$

$$ET_c = E_{To} \times K_c = 7,2 \times 1 = 7,2$$

Cálculo da lâmina bruta (LB)

$$LB = ET_c / E = 7,2 / 0,85 = 8,47$$

Tempo de Irrigação

$$TI = VOL / nq$$

$$VOL = LB \times F_c \times A_p$$

$$A_p = 3 \times 2 = 6 \text{ m}^2$$

$$VOL = 8,47 \times 1 \times 6$$

$$VOL = 50,82$$

$$TI = 50,82 / (4 \times 4) \gg TI = 3\text{h } 10\text{min.}$$

Admitindo-se um tempo de deslocamento da solução contendo nutrientes entre o ponto de injeção de fertilizante até o último emissor, igual a 20 minutos, e o tempo para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação de 25 minutos, adota-se o seguinte procedimento:

Tempo para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação: 30 minutos.

Tempo para a distribuição dos fertilizantes e lavagem do sistema de irrigação: 30 minutos.

Tempo para a aplicação dos fertilizantes: 2h10.

Concentração de N na água a ser usada na irrigação: 5 ppm.

Concentração sugerida de N na água de irrigação (máxima): 100 ppm.

Área a ser irrigada: 1 ha.

Número de setores: 1.

Dimensões de uma suposta área: 125 m x 80 m.

Número de linhas laterais: 40 (espaçadas de 3 m).

Comprimento da linha lateral: 80 m.

Número de emissores por lateral: 160, (espaçamento entre emissores igual a 0,50 m).

Vazão do emissor: 4L h<sup>-1</sup>.

Número total de emissores por setor: 6.400.

Vazão do injetor tipo Venturi 400 L h<sup>-1</sup>.

Volume do tanque de dissolução de nutrientes: 400 L.

Dados:

$q_1$  (vazão do sistema de irrigação): 25,6 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> = 25.600 L h<sup>-1</sup>.

$C_1$  (concentração natural de N na água de irrigação): 5 ppm, correspondendo a 5 mg L<sup>-1</sup> e 0,000005 kg L<sup>-1</sup>.

$q_2$  (vazão do injetor): 400 L h<sup>-1</sup>.

$C_2$  (concentração a ser colocada no tanque): = ?

$C_3$  (concentração desejada na água de irrigação): 100 ppm (0,00010 kg de N por L de água).

$q_3$  (vazão do sistema de irrigação mais vazão do injetor): 25600 + 400 = 26000 L h<sup>-1</sup>.

Solução:

a) Cálculo da concentração no tanque de mistura:

Pela equação da conservação da massa, tem-se:

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

$$C_2 = \frac{(q_3 \cdot C_3) - (q_1 C_1)}{q_2} = \frac{(26000 \times 0,0001) - (25600 \times 0,000005)}{400} = 0,00618 \text{ kg}$$

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

$$QN = Vt Ct = 400 \times 0,00618 = 2,472 \text{ kg de N.}$$

Como a água já possui 5 ppm de N que corresponde a 0,002 kg de N ( $400 \times 0,000005$ ), deve-se acrescentar no tanque apenas 2,470 kg de N. A quantidade de nitrato de cálcio (15% de N) será:

$$\text{Nitrato de cálcio} = \frac{2,472 \times 100}{15} = 16,47 \text{ kg de nitrato de cálcio}$$

A quantidade máxima de ureia que deve ser dissolvida no tanque é 16,47 kg. Pela Tabela 13, a maior quantidade de nitrato de cálcio a ser aplicada é de 13,98 kg; conseqüentemente, as condições especificadas são atendidas, pois podemos aplicar até 16,47 kg de nitrato de cálcio.

Os cálculos foram feitos para um dia específico do ciclo da cultura. As lâminas de água a serem aplicadas e os respectivos tempos de irrigação devem ser calculados para cada fase do ciclo de desenvolvimento da cultura, com os respectivos coeficientes de cultura (kc), fator de cobertura do solo (Fc), e evapotranspiração de referência, que depende dos parâmetros climáticos.

**Tabela 13.** Doses de fertilizantes para cada fase de desenvolvimento da planta.

Período (Dap*)	Fertilizante	Dose para o período	Dose por aplicação
3 a 28	Nitrato de potássio	65,2 kg ha <sup>-1</sup>	5,93 kg ha <sup>-1</sup>
	Nitrato de cálcio	153,8 kg ha <sup>-1</sup>	13,98 kg ha <sup>-1</sup>
	Ácido fosfórico	7,7 L ha <sup>-1</sup>	0,70 L ha <sup>-1</sup>
36 a 63	Ureia	44,4 kg ha <sup>-1</sup>	3,70 kg ha <sup>-1</sup>
36 a 70	Sulfato de potássio	210,0 kg ha <sup>-1</sup>	14,00 kg ha <sup>-1</sup>
	Sulfato de magnésio	140,0 kg ha <sup>-1</sup>	9,35 kg ha <sup>-1</sup>
	Ácido fosfórico	23,1 L ha <sup>-1</sup>	1,54 L ha <sup>-1</sup>
71 a 84	Sulfato de potássio	30,0 kg ha <sup>-1</sup>	5,00 kg ha <sup>-1</sup>
	Sulfato de magnésio	35,0 kg ha <sup>-1</sup>	5,84 kg ha <sup>-1</sup>
	Ácido fosfórico	7,3 L ha <sup>-1</sup>	1,22 L ha <sup>-1</sup>

\*Dap: dias após a poda.

A partir das informações, será elaborado o planejamento da fertirrigação referente ao período de 3 a 28 dias após a poda, com 11 aplicações (Tabela 14).

**Tabela 14.** Distribuição dos fertilizantes durante o ciclo de produção.

Período (Dap)	Aplicações	Fertilizantes (kg setor <sup>-1</sup> )		
		Nitrato de potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	Nitrato de cálcio (kg ha <sup>-1</sup> )	Ácido fosfórico (mL ha <sup>-1</sup> )
3 a 28		Opção A		
	1 <sup>a</sup>	1,5	--	--
	2 <sup>a</sup>	--	3,5	--
	3 <sup>a</sup>	--	--	240
	4 <sup>a</sup>	1,5	--	--
	5 <sup>a</sup>	--	3,5	--
	6 <sup>a</sup>	--	--	240
	7 <sup>a</sup>	1,5	--	--
	8 <sup>a</sup>	--	3,5	--
	9 <sup>a</sup>	--	--	240
	10 <sup>a</sup>	1,5	--	--
11 <sup>a</sup>	--	3,5	--	
3 a 28		Opção B		
	1 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	2 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	3 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	4 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	5 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	6 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	7 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	8 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	9 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
	10 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65
11 <sup>a</sup>	0,550	1,275	65	

Para os outros períodos: 36 a 63 (N – 12 aplicações); 36 a 70 (P, K, Mg – 15 aplicações); e 71 a 84 (P, K – seis aplicações) deve-se elaborar o planejamento para cada período.

### Manejo da fertirrigação

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

Para definir o tempo de cada etapa, o primeiro passo será determinar o tempo que a água demora para percorrer a distância entre o injetor de fertilizantes e o emissor situado no ponto mais distante. Um procedimento prático para determinar o tempo necessário para deslocar essa solução de nutrientes entre o injetor de fertilizantes e o ponto mais distante é colocar um corante na água, por exemplo anil, usado para tingir tecido, e computar o tempo de deslocamento do início da aplicação da água com o corante dissolvido até o momento que a água atinge o último emissor, usando-se um cronômetro. Este tempo, acrescido de uma margem de segurança de 15% a 20% do tempo de deslocamento da água, será o tempo necessário para lavar o sistema de irrigação. Para o equilíbrio hidráulico, recomenda-se deixar o sistema de irrigação funcionar por um período de 15 a 20 minutos. O restante do tempo será para a aplicação dos fertilizantes.

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

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

- 1) Verificar a compatibilidade dos fertilizantes a serem dissolvidos simultaneamente. Fertilizantes contendo cálcio, se misturado com fertilizantes contendo sulfatos, resulta na formação de sulfato de cálcio, de baixa solubilidade e, conseqüente, aumento de precipitação de partículas que podem obstruir os emissores de água.
- 2) Quando se dissolvem fertilizantes líquidos e sólidos no mesmo recipiente, deve-se colocar os fertilizantes líquidos antes dos fertilizantes sólidos, pois os fertilizantes líquidos podem proporcionar aumento de temperatura da água e alguns fertilizantes sólidos causam a redução da temperatura da solução, interferindo na solubilidade dos componentes da solução.
- 3) Deve-se efetuar a agitação dos fertilizantes, evitando-se, conseqüentemente, a formação de precipitados.
- 4) Adicionar os ácidos à água, e não o contrário.

Recomenda-se cautela ao usar água rica em cálcio e magnésio ao dissolver fertilizantes fosfatados e sulfúricos, pois podem formar substâncias insolúveis, como fosfatos de cálcio, sulfatos de cálcio etc .

Os tanques utilizados para a dissolução dos fertilizantes devem ser confeccionados com materiais não corrosivos, pois a maioria dos fertilizantes são corrosivos, em maior ou menor grau. Recomenda-se o uso de dois tanques, sendo o primeiro instalado a uma altura maior que o segundo. No primeiro tanque, dissolvem-se os fertilizantes. Após a completa dissolução dos mesmos, transferir a solução para o tanque colocado na posição mais baixa, tendo-se cuidado de fazer uma filtragem para reter as impurezas existente na solução (Figura 11).

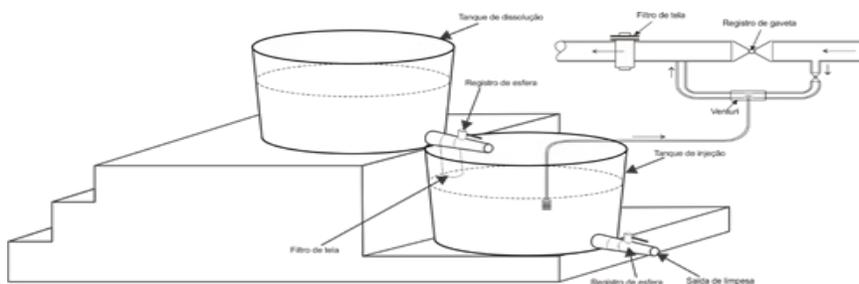


Ilustração: José Cletis Bezerra.

**Figura 11.** Disposição dos tanques para o preparo da solução de fertilizantes.

## Limpeza do sistema de irrigação

A limpeza do sistema de irrigação deve ser feita, no mínimo, uma vez por semestre (Burt et al., 1995). O processo consiste em fazer a aplicação de ácido, como ácido fosfórico ou ácido nítrico, desligar o sistema de irrigação, aguardar 2 horas, abrir todos os finais de linha de gotejadores, ligar o sistema de irrigação e aguardar até que a água saia completamente limpa nos finais das linhas.

## Exemplo de cálculo

Calcular a quantidade de ácido necessária para realizar a limpeza de um sistema de irrigação, com parcela irrigada composta por 400 plantas. Cada planta recebe água de quatro emissores com vazão de  $3,75 \text{ L h}^{-1}$ . Vazão do Venturi igual a  $60 \text{ L h}^{-1}$ . A água usada na irrigação tem pH igual a 8,6 e condutividade elétrica (dSm) igual a 0,7. O pH da solução para a limpeza do sistema de irrigação, ácido e água, deve ser menor que 2 (Lopez et al., 1997).

Cálculos:

1) Cálculo do número de emissores da parcela.

Número de gotejadores:  $400 \text{ plantas} \times 4 \text{ (gotejadores por planta)} = 1.600 \text{ gotejadores}$ .

2) Cálculo da vazão necessária para irrigar a parcela:

Vazão do sistema de irrigação:  $1600 \times 3,75 \text{ L h}^{-1} = 6.000 \text{ L h}^{-1}$ .

3) Cálculo do volume de ácido para realizar a limpeza do sistema de irrigação:

Coletar 200 mL da água de irrigação.

Adicionar ácido diluído (5:1000 – ácido nítrico) e medir o volume de água adicionado até pH atingir o valor de 2. Usar ácido diluído para evitar queda brusca no pH.

O volume de ácido para abaixar o pH da água de 8,6 para 2 foi de  $40 \text{ cm}^3$  (0,040 L) de ácido

4) Cálculo da quantidade de ácido diluído para baixar o pH (8,6) para 2 para 1 L de água:

0,04 L de ácido                      0,2 L de água

X    1 L

X = 0,200 litro de ácido nítrico diluído por litro de água

5) Cálculo do volume de ácido concentrado necessário para reduzir o pH da água para 2

1000  $\text{cm}^3$  sol (diluída)              5  $\text{cm}^3$  ácido nítrico

200    Y

Y = 1  $\text{cm}^3$  ácido nítrico concentrado por L de água

Como a vazão do sistema de irrigação é igual a  $6.000 \text{ L h}^{-1}$ , podemos aplicar 6.000 L em 1 hora.

Se 1 L de água necessita de 1  $\text{cm}^3$  de ácido concentrado, 6.000 L de água necessitam de 6.000  $\text{cm}^3$  de ácido nítrico (6 L). Portanto, deve-se aplicar 6 L de ácido para irrigar durante 1 hora. Devemos formar um volume de solução (água mais ácido) igual a 60 L, conseqüentemente, é necessário colocar 6 L de ácido nítrico concentrado em 54 L de água, totalizando 60 L de solução. Dado que a vazão do Venturi é igual a  $60 \text{ L h}^{-1}$ , o tempo para a aplicação da solução é igual a 1 hora.

Irriga-se por 1 h, aplicando-se o ácido; desliga-se o sistema de irrigação e aguarda-se um tempo de, no mínimo, 2 horas. Após esse tempo, abre-se todos os seus finais das linhas de emissores e liga-se novamente o sistema de irrigação para a sua lavagem completa. A lavagem termina quando se observa que a água que sai nos finais das linhas de emissores está limpa, sem presença de impurezas.

## **Aplicação de agroquímicos**

Atualmente, assim como a fertirrigação, a técnica de aplicação de agroquímicos vem se aperfeiçoando. O uso dessa técnica está sendo intensificado por parte dos produtores que dispõem de equipamentos de irrigação, pois é uma técnica eficiente para a aplicação de produtos químicos e economicamente viável. Os mais diversos tipos de produtos, entre eles os herbicidas, os inseticidas, os fungicidas, os nematicidas e produtos biológicos são passíveis de serem aplicados via irrigação.

A aplicação de agroquímicos pode ser realizada com todos os métodos de irrigação: superfície, aspersão e localizada. Nas irrigações por superfície e localizada apenas é possível aplicar agroquímicos que têm como alvo o solo. Na irrigação por aspersão, a aplicação é feita em área total, e os agroquímicos podem ter como alvo tanto o solo quanto a parte aérea das plantas, ou ambos. Diferente da fertirrigação, que é de uso contínuo, a aplicação de agroquímicos é realizada quando houver necessidade de aplicação de cada produto específico.

Devem-se conhecer as características química e física dos produtos a serem aplicados via água de irrigação, como solubilidade, adsorção, dessorção, volatilidade e fotossensibilidade. O que mais influencia na adsorção de herbicida é o solo, com o tipo e a quantidade de argila e de matéria orgânica presentes. Recomenda-se, em solos argilosos e, principalmente, em orgânicos, aplicar maior dose de herbicida, cerca de 15% a 20%, que em arenosos, para o controle adequado de plantas daninhas (Lima et al., 2012).

A aplicação de produtos químicos para tratamentos fitossanitários via água de irrigação deve seguir a legislação vigente para os tratamentos fitossanitários, com as recomendações de cada produto, inclusive obedecer aos períodos de carências, registros para as respectivas culturas e as dosagens especificadas no rótulo de cada produto. Vale ressaltar que os defensivos devem estar devidamente registrados nos órgãos federais e estaduais competentes.

A vantagem da aplicação de agroquímicos consiste na não contaminação dos operadores, pois não há derivas de produtos, principalmente em sistemas de irrigação localizada. Para os sistemas de irrigação por aspersão e pivô central, devem-se evitar horários com vento, minimizando as derivas e, conseqüentemente, perdas dos produtos aplicados. Normalmente, são realizadas ao entardecer e/ou no período da noite.

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

dos insumos agrícolas, criou-se expectativa em relação à utilização dessa tecnologia. Entretanto, as precauções a serem tomadas, as medidas e os equipamentos de segurança a serem adotados dependem, basicamente, da conscientização do produtor irrigante e do custo envolvido.

Um exemplo prático pode ser visto para cultura de ciclo curto, como o meloeiro, em que os métodos de aplicação dos agroquímicos são realizados por pulverização e via irrigação. No primeiro caso, são realizados com equipamento costal e/ou pulverizadores em barra de trator. Para o uso via sistema de irrigação, os neonicotinoides são a única opção e possuem ação sistêmica e recomendações específicas para sua aplicação por esse método. O neonicotinoide tiametoxan, aplicado via irrigação, possui período de carência de 64 dias. Consequentemente, o único momento possível de sua utilização por esse método é logo após a germinação ou transplante, já que o tempo para colheita é de aproximadamente 65 dias para o melão. Para as áreas de meloeiro que já estejam com presença de mosca-branca, é recomendada uma aplicação preventiva de neonicotinoide. Essa deve ser realizada via irrigação na emergência das plântulas. Na sequência, deve-se iniciar o monitoramento de mosca-branca, a cada 3 dias (Tales, 2002).

Em geral, os produtos químicos aplicados via água de irrigação por gotejamento estão sendo utilizados para o combate do bicho-mineiro e pulgão, especialmente, os produtos: tiametoxan, abamectina e cipermetrina.

### **Sistema de prevenção do refluxo**

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

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

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

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

- 1) Válvula de retenção na linha principal de irrigação, ventosa-sifão e um dreno.

A válvula de retenção e a ventosa-sifão impedem o produto químico e/ou a solução de retornar à fonte d'água. As válvulas de retenção devem situar-se

entre a bomba de irrigação e o ponto de injeção na linha principal de irrigação. A função do dreno de baixa pressão é remover qualquer solução de produto químico que tenha passado pela válvula de retenção.

## 2) Sistema bloqueador de injeção de químicos.

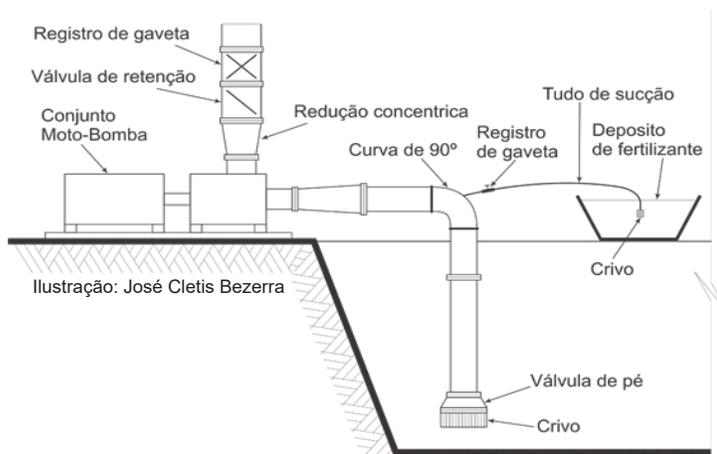
O sistema que interrompe a injeção de produtos químicos consiste de uma válvula de retenção na linha de injeção de químicos, uma válvula solenoide localizada na linha de sucção, suprimento de energia do sistema de irrigação e a bomba de injeção de químicos. A válvula de retenção é necessária para prevenir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

## 3) Bomba injetora.

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

## Prática não recomendada

A instalação do sistema de injeção usando-se a bomba do sistema de irrigação como injetor de fertilizante, como ilustrado na Figura 12, é encontrada na prática. Todavia, tecnicamente, não se recomenda fazer injeção de produtos químicos, incluindo fertilizante que utilize a bomba de sucção para injeção de produtos químicos. Qualquer problema que ocorrer pode contaminar a fonte de água. Também, afeta negativamente as condições hidráulicas da sucção do bombeamento e provoca corrosão e cavitação dos componentes da bomba. É um exemplo do que não deve ser feito.



**Figura 12.** Injeção de fertilizantes adotando-se o conjunto motobomba como injetor de fertilizantes.

## **Estratégias de manejo da aplicação de fertilizantes e agroquímicos na água de irrigação**

Na quimigação, existem aspectos essenciais para um eficiente desempenho do sistema. Dentre eles podem ser destacados:

- 1) Conhecer o sistema de irrigação, vazão do emissor, pressão de serviço, volume de solo molhado e uniformidade de distribuição da água, pois se o volume de água for baixo, afetará a distribuição do produto aplicado.
- 2) Estudar o clima e o solo, e determinar as características físicas e químicas da água, que interferem na aplicação de produtos via água de irrigação.
- 3) Analisar as características químicas e físicas de cada produto a ser aplicado via água de irrigação. A solubilidade em água pura (geralmente entre 20 °C e 25 °C) é fornecida em mg L<sup>-1</sup>. Os produtos podem ser classificados, quanto à solubilidade, em insolúvel (< 1 mg L<sup>-1</sup>); 2 - muito baixa (entre 1 mg L<sup>-1</sup> e 10 mg L<sup>-1</sup>); 3 - baixa (entre 11 mg L<sup>-1</sup> e 50 mg L<sup>-1</sup>); 4 - média (entre 51 mg L<sup>-1</sup> e 150 mg L<sup>-1</sup>); 5 - elevada (entre 151 mg L<sup>-1</sup> e 500 mg L<sup>-1</sup>); 6 - muito elevada (entre 501 mg L<sup>-1</sup> e 5.000 mg L<sup>-1</sup>); e 7 - extremamente elevada (acima de 5.000 mg L<sup>-1</sup>) (Deuber, 1992). Em geral, produtos com alta solubilidade em água atingem maiores profundidades no solo que os pouco solúveis.
- 4) Compreender o processo de adsorção, influenciado pelo tipo e quantidade de argila e quantidade de matéria orgânica presentes no solo. A concentração do produto na solução do solo afeta a disponibilidade para a absorção pelas plantas, para a degradação química e biológica, para a volatilização e para a lixiviação (Harper, 1994).
- 5) Fazer uso de práticas de manutenção do sistema, a exemplo do processo de cloração para combater algas, o qual consiste na aplicação de produtos que contenham altas concentrações de cloro, como ácido hipocloroso, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio (Burt et al., 1995), com precaução, para evitar toxidez às plantas.
- 6) Reduzir o crescimento bacteriano no sistema. Manejar as concentrações de manganês, uma vez que as bactérias têm crescimento adequado sob baixa concentração dele (menor que 0,2 mg L<sup>-1</sup>) e cobrir pequenos reservatórios para evitar a entrada de luz solar, prevenindo o desenvolvimento de bactérias. Já para a ação desses microrganismos que oxidam os componentes do sistema de irrigação confeccionados de ferro, podendo causar obstrução nos emissores de água, recomenda-se a aeração da água para a precipitação do ferro (Lima et al., 2012).

## Considerações finais

A aplicação de fertilizantes, pelos resultados gerados e já validados para diversas culturas agrícolas, estando entre as técnicas mais eficientes e econômicas de aplicação de fertilizantes às plantas, principalmente em regiões áridas e semiáridas. No entanto, a aplicação de agroquímicos está crescendo em função das vantagens e praticidade inerentes a essa tecnologia para agricultura irrigada. Com a evolução dos sistemas de irrigação, a introdução de novos defensivos no mercado, o aumento crescente do custo da mão de obra e a necessidade de elevar a eficiência dos insumos agrícolas, criou-se expectativa em relação à utilização dessa tecnologia. Entretanto, no Brasil, como não há legislação específica sobre as precauções a serem tomadas, as medidas e os equipamentos de segurança a serem adotados dependem, basicamente, da conscientização do produtor irrigante e do custo envolvido. Estudos com dosagens, épocas de aplicação e novos produtos devem continuar para o aperfeiçoamento da eficiência da técnica.

## Referências

- ANTUNES, R. C. B.; RENA, A. B.; MANTOVANI, E. C. **Fertirrigação na cultura do cafeeiro arábica**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 39 p. (Boletim Técnico, 5).
- BRASIL. Instrução Normativa, n. 39, de 8 de agosto de 2018. **Diário Oficial da União**: seção: 1, Brasília, DF, p. 19, 10 ago. 2018.
- BRITO, R. A. L.; PINTO, J. M. Aplicação de produtos químicos via irrigação (quimigação). In: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 421-447.
- BURT, C. M.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Irrigation Training and Research Center-California Polytechnic State University, 1995. 295 p.
- CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. Adsorção de fosfato em solos com caráter ácido avaliada por um modelo de complexação de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 353-360, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300001>.
- CAVALCANTI, F. J. de A. (coord.). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**: 2. aproximação. 3. ed. rev. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. 212 p.
- DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas**: fundamentos. Jaboticabal: Funep, 1992. v. 1, 431 p.
- ESPAÑA, B. P. **Riegos de gravedad y a presión**. Valência: Editorial Universitat Politècnica de València, 1996. 465 p.
- FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R.; DENMEAD, O. T.; MUIRHEAD, W. A.; LEUNING R. Transformation and transfers of nitrogen after irrigating a cracking clay soil with a urea. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 36, p. 685-694, 1985.

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

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

HARPER, S. S. Sorption-desorption and herbicide behavior in soil. **Reviews of Weed Science**, v. 6, p. 207-225, 1994.

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

HERGERT, G. W.; REUSS, J. O. Sprinkler application of P and Zn fertilizers. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 5-8, 1976. DOI:10.2134/agronj1976.00021962006800010002x.

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

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

LIMA, P. L. T.; MAGALHÃES, C. A. de S.; CARVALHO, R. F. de; LIMA, L. A.; LIMA, J. M. de; ANDRADE, L. A. de B. Trifluralin leaching in soils cultivated with sugarcane irrigated by sub-surface drip system. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 39-45, 2012.

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

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

MACINTYRE, A. J. **Bambas e instalações de bombeamento**. 2 ed. rev. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1997. 782 p.

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

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

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

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

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

TALES, J. A. M. **Riego localizado y fertirrigación**. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2002. 534 p.

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



---

**Semiárido**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL