

Aplicação de Fertilizantes Via Água de Irrigação por Injetor Venturi





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Marcus Vinícius Pratini de Moraes
Ministro

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Conselho de Administração**

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast
José Honório Accarini

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari

Bonifácio Hideyuki Nakasu

José Roberto Rodrigues Peres

Diretores

Embrapa Meio-Norte

Maria Pinheiro Fernandes Corrêa
Chefe-Geral

Hoston Tomás Santos do Nascimento
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Eugênio Celso Emérito Araújo
Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios

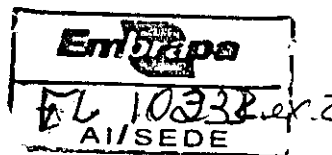
João Erivaldo Saraiva Serpa
Chefe-Adjunto Administrativo

Embrapa

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

ISSN 0104-866X

Dezembro/2001



Documentos 59

Aplicação de Fertilizantes Via Água de Irrigação por Injetor Venturi

Marcos Emanuel da Costa Veloso
Judivan Oliveira Paz
Valdemício Ferreira de Sousa



Teresina, PI
2001

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5650, Bairro Buenos Aires
Caixa Postal 01, CEP.: 64006-220 Teresina, PI,
Fone: (86) 225-1141, Fax: (86) 225-1142.
Home page: www.cpamn.embrapa.br.
Vendas: sac@cpamn.embrapa.br.

Comitê de Publicações

Presidente: Antonio Boris Frota

Secretária executiva: Dione Cavalcante Costa

Membros: Paulo Henrique Soares da Silva, Valdenir Queiroz Ribeiro, Expedito Aguiar Lopes, Edson Alves Bastos, Milton José Cardoso e João Avelar Magalhães

Supervisor editorial: Lúgia Maria Rolim Bandeira

Revisor de texto: Lúgia Maria Rolim Bandeira

Normalização bibliográfica: Orlane da Silva Maia

Diagramação eletrônica: Erlândio Santos de Resende

Capa: Foto de Marcos Emanuel da Costa Veloso

1ª edição

1ª impressão (2001) 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Embrapa Meio-Norte

Veloso, Marcos Emanuel da Costa

Aplicação de fertilizantes via água de irrigação por injetor Venturi

Marcos Emanuel da Costa Veloso, Judivan Oliveira Paz, Valdemício Ferreira de Sousa - Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001.

31p. - (Embrapa Meio-Norte. Documentos; 59).

1. Fertirrigação. 2. Irrigação localizada. 3. Água de irrigação. E. Manejo de água I. Paz, Judivan Oliveira. II Sousa, Valdemício Ferreira de. III. Embrapa Meio-Norte. IV Título. V. Série.

CDD: 636.28

Autores

Marcos Emanuel da Costa Veloso

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Irrigação e
Drenagem, Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01,
CEP 64006-220. Teresina, PI
Endereço eletrônico:marcos@cpamn.embrapa.br

Judivan Oliveira Paz

Engenheiro Agrônomo Especialista em Fruticultura
Irrigada, Prefeitura Municipal de Teresina/
Superintendência de Desenvolvimento Rural

Valdemício Ferreira de Sousa

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e
Drenagem, Embrapa Meio-Norte
Endereço eletrônico:vfsousa@cpamn.embrapa.br

Apresentação

A aplicação de produtos químicos via água de irrigação (quimigação) vem tornando-se quase rotina nas áreas irrigadas, especialmente, com a Fruticultura Tropical na região Nordeste. Quando estes produtos químicos são os fertilizantes, a prática é denominada de fertirrigação . O injetor de fluido Venturi é um dos equipamentos mais utilizados na fertirrigação. Esse equipamento apresenta boa eficiência na injeção de produtos químicos via água de irrigação, baixo custo de aquisição, fácil operacionalização, construção simples, sem peças móveis e geralmente dispensa energia externa ao sistema. O sucesso do seu uso depende de vários fatores, podendo-se destacar a uniformidade de injeção dos produtos químicos, os quais devem ser avaliados e calibrados antes de serem usados.

Neste documento, pretende-se disponibilizar informações técnicas sobre esse equipamento a estudantes, técnicos e irrigantes.

Maria Pinheiro Fernandes Corrêa
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

Sumário

Lista de Símbolos	9
Aplicação de Fertilizantes Via Água de Irrigação por Injetor Venturi.....	11
Introdução	11
Fertirrigação	12
Métodos de Injeção de Fertilizantes	13
Injetor Venturi	14
Princípio de Funcionamento do Injetor Venturi	16
Condições Requeridas para o Funcionamento do Venturi	18
Rendimento dos Injetores	22
Instalação do Injetor Venturi	24
Calibração do Injetor Venturi	24
Uniformidade de Distribuição de Fertilizantes Utilizando Injetores Venturi	25
Hidráulica do Injetor Venturi Simples	26
Comportamento do Injetor Venturi Duplo	28
Recomendações.....	28
Considerações Gerais.....	28
Referências Bibliográficas	29

Lista de Símbolos

- g - peso específico do fluido: Nm^{-3} ;
- D_h - diferencial de pressão entre pontos no injetor Venturi, Pa;
- A_2 - área de secção a montante do injetor, m^2 ;
- A_3 - área da secção a jusante de injetor, m^2 ;
- g - aceleração da gravidade local, ms^{-2} ;
- H_1 - energia de pressão por unidade de peso na entrada do injetor, mca;
- H_2 - energia de pressão por unidade de peso na câmara de mistura, mca;
- H_3 - energia de pressão por unidade de peso na tubulação pós-injetor, mca;
- hf - perdas de carga localizada, Pa;
- K - coeficiente de descarga;
- P_1 - pressão em um ponto a montante do injetor simples, Pa;
- P_2 - sucção na câmara de mistura do injetor simples, Pa;
- P_3 - pressão na tubulação pós-injetor simples, Pa;
- P_e - pressão de serviço na entrada do injetor, Pa;
- P_s - pressão de serviço na saída do injetor, Pa;
- Pt_1 - pressão no ponto instalado a montante do sistema, Pa; Pt_2 - pressão na tubulação de sucção do injetor secundário no sistema em injetor duplo, Pa;
- Pt_3 - pressão ao ponto instalado a jusante do injetor secundário no sistema em injetor duplo, Pa;
- Pt_4 - pressão no ponto instalado a jusante do injetor principal no sistema em injetor duplo, Pa;
- Q_1 - vazão motriz do fluido na tubulação a montante do injetor, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- Q_2 - vazão do fluido na tubulação de sucção, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- Q_3 - vazão do fluido na tubulação a jusante do injetor, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- V_1 - velocidade do fluido na secção a montante do injetor, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- V_2 - velocidade do fluido na tubulação de sucção, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- V_3 - velocidade do fluido na tubulação a jusante do injetor, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Aplicação de Fertilizantes Via Água de Irrigação por Injetor Venturi

Marcos Emanuel da Costa Veloso
Judivan Oliveira Paz
Valdemício Ferreira de Sousa

Introdução

A população mundial duplicou nos últimos 60 anos, totalizando mais de seis bilhões de habitantes com uma crescente demanda por alimento e por outros bens de consumo. Isso fez com que o homem passasse a explorar novas áreas e a buscar um constante aumento de produtividade, qualidade dos alimentos e redução dos custos de produção, utilizando, especialmente, a agricultura irrigada de forma racional.

A área irrigada do mundo é 267,7 milhões, representando 17,7% da sua área cultivada, 1,5 bilhão de hectares, correspondendo a 40% do total da colheita agrícola, no ano de 1997. Dessa área irrigada, somente os Estados Unidos da América irrigam cerca de 30 milhões de hectares. No Brasil, a área irrigada e cultivada no ano de 1998 foi 2,7 e 47,9 milhões de hectares, respectivamente, representando apenas 5,8%, da sua área total cultivada. Estima-se que o Brasil tem potencial para irrigar de 30 a 50 milhões de hectares. A região Nordeste possui a terceira maior área irrigada do Brasil (512,8 mil hectares), atrás apenas da região Sul (1,2 milhão de hectares) e Sudeste (991,0 mil hectares) (Chistofidis, 2001).

Nos últimos anos, houve uma rápida expansão da agricultura irrigada na região Nordeste, com utilização de alto nível de tecnologia. O início do sucesso dessa atividade ocorreu notadamente no submédio e no baixo São Francisco, especialmente nos municípios de Petrolina, PE, e Juazeiro, BA, sendo atualmente seguida por inúmeros pólos de irrigação existentes em todos os Estados nordestinos.

O desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, na região Nordeste, passa impreterivelmente pela elaboração e execução de projetos adequados de irrigação, drenagem e seus respectivos manejos de culturas irrigadas, a fim de propiciar a umidade necessária ao pleno desenvolvimento das culturas.

Dentre os métodos de irrigação que podem ser utilizados e escolhidos devem prevalecer aqueles de melhor viabilidade técnico-econômica e que propiciem benefícios sociais advindos do seu uso, buscando uma eficiência cada vez maior dos recursos hídricos e uma gestão adequada dos efluentes agrícolas, para não contaminar o meio ambiente (Ramos & Mantovani, 1994). Nas áreas implantadas atualmente com agricultura irrigada, na região Nordeste, destaca-se a irrigação localizada em fruteiras tropicais, predominando o sistema de irrigação por microaspersão.

A irrigação localizada caracteriza-se por aplicar água ao solo, diretamente sobre a região radicular, em pequena intensidade, porém com alta frequência, mantendo o solo próximo da capacidade de campo. As principais desvantagens ou limitações estão relacionadas com o seu custo de aquisição e entupimento dos emissores. O uso e manejo de injetores químicos na estação de controle para se fazer fertirrigação é praticamente obrigatório, uma vez que aumenta a eficiência de uso do fertilizante, reduz a mão-de-obra, além de flexibilizar a época de aplicação, contribuindo para o aumento da produtividade e diminuição dos riscos de contaminações ambientais.

A fertirrigação é parte integrante da irrigação localizada. É um dos métodos mais eficientes e econômicos de aplicar fertilizantes às plantas. A injeção dos fertilizantes pode ser feita por diversos métodos e equipamentos, dentre esses, pode-se destacar o método de transformação de energia, cujo equipamento utilizado é o injetor Venturi (Bernardo, 1995; Sousa et al., 2001).

São poucas as informações técnicas e científicas sobre o injetor de fertilizante Venturi: dosagem, tempo de aplicação e distribuição do fertilizante através da água de irrigação e divulgação das suas vantagens e da fertirrigação junto aos irrigantes, onde ainda não é utilizada de forma expressiva.

O objetivo deste trabalho consiste em disponibilizar informações tecnológicas e científicas sobre manejo do injetor Venturi, para sua viabilização, fornecendo mais subsídios para os irrigantes, visando melhor utilização desses aparelhos como injetor de fertilizante nos sistemas de irrigação localizada.

Fertirrigação

O conhecimento da fertilidade do solo e seu potencial produtivo, segundo Padilha (1998), constitui a base essencial para o início do desenvolvimento e alcance do êxito desejado de uma empresa agrícola, eficiente e competitiva. Muitos irrigantes têm utilizado o sistema de irrigação para aplicar produtos químicos via água de irrigação (quimigação). Quando esses produtos são os fertilizantes, dá-se o nome de fertirrigação (Ferreira et al., 1996). Essa prática vem tornando-se quase rotineira por muitos produtores.

Os fertilizantes nítricos, potássicos e a maioria dos micronutrientes têm pouca limitação quanto ao uso através da fertirrigação. Já os fertilizantes fosfatados, em água com pH elevado e com altos teores em carbonatos e bicarbonatos, podem precipitar, contribuindo para o entupimento dos emissores (Bernardo, 1995).

Segundo Keller (1984), a fertirrigação pode ser dividida em três intervalos. Durante o primeiro intervalo, o sistema de irrigação opera normalmente, irrigando a cultura e o solo. No segundo intervalo, os fertilizantes são injetados e distribuídos em um tempo raramente inferior a 30 minutos, preferencialmente entre 1 e 2 horas. O último intervalo deve ser mais longo, para permitir a lavagem completa das folhagens e de todo o sistema de irrigação. O uso inadequado da fertirrigação pode provocar entupimento dos emissores, devido à proliferação de algas, fungos e bactérias. Esses entupimentos contribuem para a redução da uniformidade da aplicação e má distribuição dos produtos químicos aplicados via água de irrigação. A fertirrigação também provoca corrosão nos componentes dos sistemas localizados. Para evitar esse problema recomenda-se lavar o sistema com a passagem de água por, pelo menos 30 minutos (Ramos & Mantovani, 1994). Entretanto, Lopez (1998) sugere que a fertirrigação deve terminar 15 minutos antes de desligar o sistema de irrigação, objetivando lavar os produtos químicos e evitar suas precipitações.

A fertirrigação vem contribuindo, cada vez mais, para minimizar os custos com a irrigação e melhorar a eficiência dos produtos aplicados. O injetor Venturi é um dos mais utilizados, em função do seu baixo custo e fácil operacionalização, embora receba críticas quanto ao baixo rendimento, às altas perdas de carga e por requerer um limite operacional para um bom funcionamento (Feitosa Filho et al., 1998).

Quando se trabalha com esse injetor, a solução contendo o produto químico a ser aplicado é preparado e mantido em um reservatório aberto, de onde é succionada e incorporada ao fluido motriz que passa por ele. A partir daí, a mistura é conduzida e distribuída no solo ou sobre as culturas irrigadas.

Métodos de Injeção de Fertilizantes

Howell et al. (1980), citado por Feitosa Filho (1990), classificaram os métodos de injeção de fertilizantes em água de irrigação em três grupos: a) método que opera sob condições de pressão efetiva positiva, (bomba injetora e injeção por gravidade); b) método que opera sob condições de pressão efetiva negativa, (succção pela própria bomba de irrigação e injetor Venturi); c) método que utiliza diferença de pressão (injetor Pitot e tanque de derivação).

De acordo com Costa et al. (1994), os métodos de injeção de produtos químicos via água de irrigação foram classificados em cinco grupos: a) turbobombas (bombas hidrodinâmicas); b) bombas volumétricas (bombas de deslocamento positivo); c) método diferencial de pressão; d) transformação de energia (Venturi) e) métodos combinados ou composto.

Lopez (1998) destaca os equipamentos de injeções em: a) Venturi, b) tanque de fertilizantes, c) bomba de injeção, acionada elétrica ou hidráulicamente. O injetor de fertilizante deve ser escolhido em função da necessidade de adubação, tipo e quantidade de energia, necessidade de automatização e vazão de injeção necessária.

Injetor Venturi

Diversos equipamentos são utilizados na injeção de fertilizantes e outros produtos químicos na água de irrigação, os quais diferenciam quanto à fonte de energia, funcionamento, eficiência e preço. Dentre esses equipamentos, destaca-se o injetor Venturi, por ser de construção simples, sem peças móveis, não necessitando de uma fonte de energia especial e, principalmente, de custo relativamente baixo. Quando se trabalha com condições definidas de pressão e vazão, obtém-se uma proporção de diluição constante (Frizone et al., 1994).

Os injetores de soluções Venturi, segundo Trokolanski (1977), citado por Feitosa Filho (1998), funcionam como uma bomba a jato (Jet Pumps), sendo classificados em dois grupos: (a) ejetores – equipamentos que succionam um fluido (líquido, gás ou vapor), sob ação de uma pressão e recalca-o para um outro local sujeito à ação da pressão atmosférica ou ligeiramente superior a ela; (b) injetores – equipamentos que succionam o fluido sempre para locais em condições de pressão superior à pressão atmosférica. A segunda definição parece mais adequada.

O injetor Venturi utilizado na quimigação é um dispositivo, metálico ou de PVC, encontrado no mercado com diferentes formatos e dimensões. Possui uma secção convergente gradual, seguida de um estrangulamento (garganta) e de uma secção divergente gradual. As Fig. 1, 2 e 3 apresentam um esquema ilustrativo de injetor Venturi: simples, duplo e de câmara de mistura (Feitosa Filho, 1990).

O injetor de fertilizante mais barato é o Venturi simples; porém é o que produz maior perda de carga, nunca inferior a 30% da pressão de entrada. Alguns modelos mais completos podem injetar vazão de até 3.000 L h⁻¹ (Lopez, 1998).

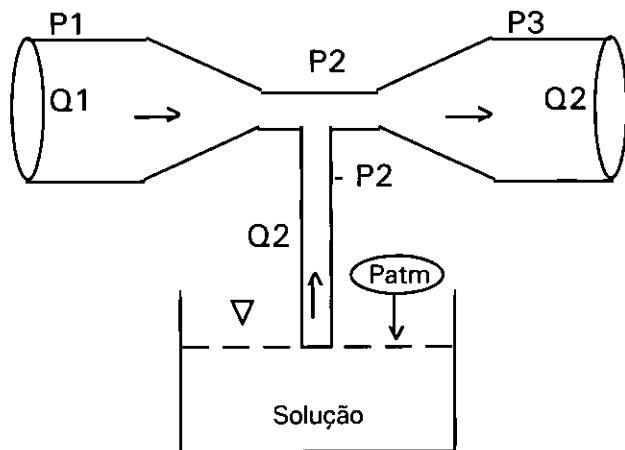


Fig. 1 - Esquema do injetor Venturi simples
 Fonte: Feitosa Filho, 1990

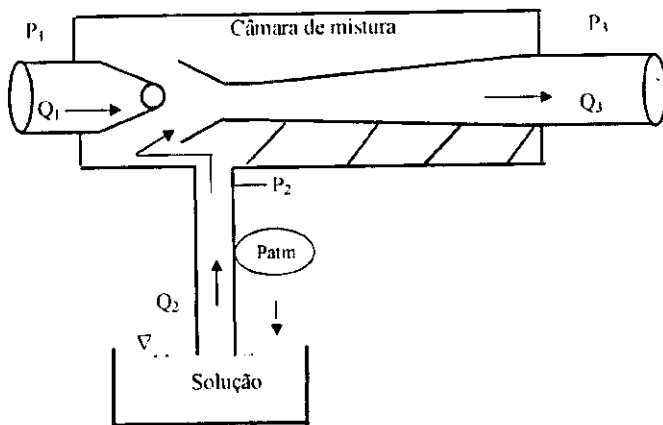


Fig. 2 - Esquema do injetor Venturi com câmara de mistura
 Fonte: Feitosa Filho, 1990

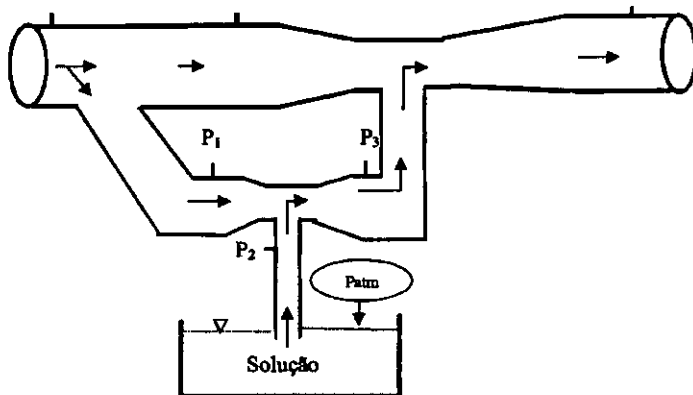


Fig. 3. Esquema do injetor Venturi duplo
Fonte: Feitosa Filho, 1990

Princípio de Funcionamento do Injetor Venturi

A equação que expressa o teorema de Bernoulli considera como referencial o movimento de um fluido perfeito, desprezando as perdas de carga (h_f) provocadas pelo atrito, a viscosidade e turbilhonamento do fluido no interior da tubulação. Para atender às condições reais dos fluidos, acrescentou-se o termo h_f (Denícúli, 1985). O teorema de Bernoulli passou a ser definido teoricamente por:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f(1-2)} \quad (1)$$

O princípio de funcionamento do injetor de fluido Venturi está relacionado com o teorema de Bernoulli. De acordo com Feitosa Filho (1990) e Denícúli et al. (1992), esse princípio fundamenta-se no fenômeno da transformação de formas de energia, onde parte da energia de pressão (da água na tubulação) é transformada em energia cinética (quando passa pela seção convergente e seção estrangulada do Venturi) que, normalmente, se transforma em energia de pressão (quando volta à tubulação principal). O Venturi aumenta a velocidade da água na seção estrangulada, provocando queda de pressão, ocasionando a

sucção da solução, colocada em um reservatório aberto, injetando-a na tubulação da linha principal de irrigação (Fig. 4).

Segundo Frizone et al. (1994), o injetor de fertilizante Venturi produz uma sucção pela pressão negativa e pelo princípio da transformação de energia de pressão da água dentro da tubulação em energia cinética. Com isso aumenta-se a velocidade da água, na zona de estrangulamento do venturi, voltando à energia de pressão, ao retornar a tubulação normal.

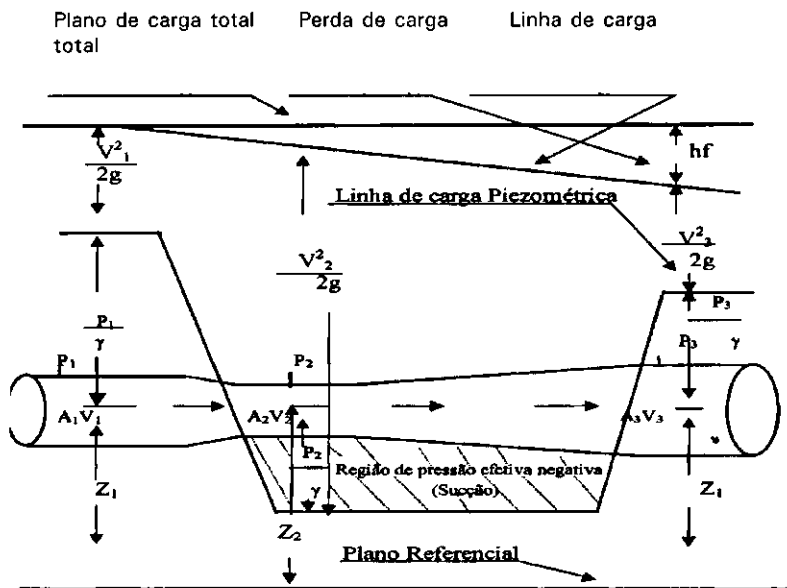


Fig. 4 - Esquema do princípio de funcionamento do injetor Venturi
Fonte: Feitosa Filho, 1990

Condições Requeridas para o Funcionamento do Venturi

Kaufmann (1963), citado por Feitosa Filho (1998), considerou um sistema constituído por um injetor e por três reservatórios com funções específicas, estabelecendo os aspectos hidráulicos do processo de sucção, para explicar as condições de funcionamento do injetor de fluido Venturi (Fig. 5).

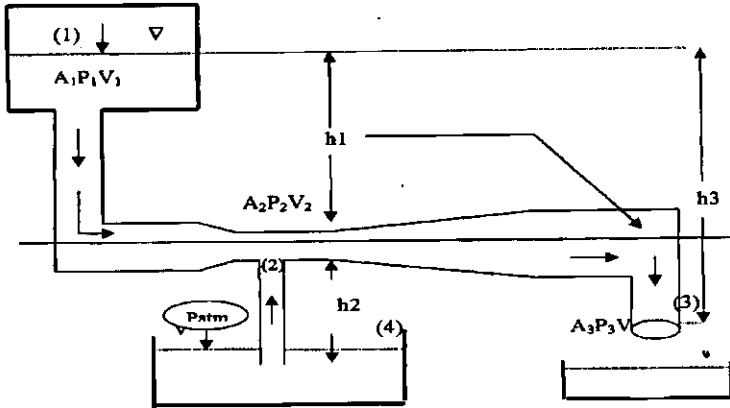


Fig. 5 - Condições requeridas para haver a sucção pelo injetor Venturi
Fonte: Feitosa Filho, 1990

O primeiro reservatório (1) fornece as vazões motrizes ao injetor Venturi (2). O segundo reservatório (3) faz a captação da solução (armazena) succionada pelo injetor (2). Consideraram-se as seguintes condições de contorno para se estabelecer o processo de sucção pelo injetor Venturi: a) o primeiro reservatório de abastecimento (1) funciona fechado e possui uma pressão de serviço maior que a pressão atmosférica. O nível de água é mantido; b) o segundo reservatório (4) encontra-se sob a ação da pressão atmosférica; c) o reservatório de captação (3) também funciona aberto e encontra-se sob a ação da pressão atmosférica, com descarga livre; d) o nível referencial do sistema passa na parte central da secção contraída do injetor.

Utilizaram-se três equações básicas: a equação de Bernoulli (1), a Equação da Continuidade (2) e a Equação que mede a velocidade de um fluido num bocal (3):

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_3 V_3 = \dots = A_n V_n \quad (2)$$

$$V = K \sqrt{2g \Delta h} \quad (3)$$

O ponto de descarga (3) possui uma área A_3 e uma altura h_3 , que está abaixo do nível da água do reservatório de abastecimento (1).

Desprezou-se a influência das vazões succionadas pelo injetor junto ao fluido motriz, que passa pela secção estrangulada ou na câmara de mistura. Aplicando-se a Equação de Bernoulli entre os pontos (1 e 2) definidos na superfície do primeiro reservatório, tem-se:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (4)$$

ou

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} - h_1 \quad (5)$$

Utilizando-se a Equação da Continuidade (2) em relação aos pontos 1 e 3 e entre os pontos 2 e 3, respectivamente, obtendo-se:

$$V_1 = \frac{A_3 V_3}{A_1} \quad (6)$$

e

$$V_2 = \frac{A_3 V_3}{A_2} \quad (7)$$

Substituindo-se os valores de V_1 da equação (6) e V_2 da equação (7) na equação (5), obtém-se:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{A_3^2 V_3^2}{2g} \left[\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right] - h_1 \quad (8)$$

Considerando a área A_1 da equação (8) muito pequena em relação à área A_2 , o termo A_1^2 desta equação foi desprezado. A equação (8) passou a ser expressa:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{A_3^2 V_3^2}{2g} \left[\frac{1}{A_2^2} \right] - h_1 \quad (9)$$

A velocidade do fluido (V_3), no ponto de descarga do bocal, pode ser determinada utilizando a equação (3):

$$V_3 = \sqrt{2gh_3} \quad (10)$$

Substituindo o valor da velocidade V_3 , equação. (10), na equação (9), foi obtida a equação:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left[h_3 \frac{A_3}{A_2} \right]^2 - h_1 \quad (11)$$

O lado direito da equação (11), para que eles obtivessem valores positivos seria necessário que:

$$h_1 < h_3 \left[\frac{A_3}{A_2} \right]^2 \quad (12)$$

e

$$P_2 < P_1 \quad (13)$$

Se uma ou as duas condições forem verdadeiras, o fluido motriz que passa pela secção contraída do injetor Venturi (2) não sairá por essa tubulação, porque há na secção estrangulada do injetor uma sucção, pressão negativa ou tensão. Por esse fenômeno, pode-se adicionar solução e/ou ar ao interior de uma tubulação, permitindo-se fazer a quimificação.

A solução ao alcançar o interior da câmara de mistura do injetor é incorporada automaticamente ao fluido motriz. Para ocorrer a sucção da solução na tubulação vertical do injetor é necessário que:

$$h_2 Y_{sol} < (P_1 - P_2) \quad (14)$$

em que,

h_2 - altura a ser elevada a solução do nível do reservatório até a câmara de mistura do injetor, m;

Y_{sol} - peso específico da solução, igf m^{-3} .

Substituindo-se o termo $(P_1 - P_2)$ da equação (14) na equação (11):

$$\frac{h_2 Y_{sol}}{Y} = h_3 \left[\frac{A_3}{A_2} \right]^2 - h_1 \quad (15)$$

Considerando-se o peso específico da solução succionada igual ao peso específico do fluido motriz. Então, os termos g_{sol} e g da equação (15) serão simplificados, resumindo-se em apenas:

$$h_2 = h_3 \left[\frac{A_3}{A_2} \right]^2 - h_1 \quad (16)$$

Analisando-se os termos da equação. (16), percebe-se que para haver a sucção da solução na tubulação, ao invés da forma de igualdade, essa equação deverá ser expressa como uma desigualdade, ou seja:

$$h_2 < h_3 \left[\frac{A_3}{A_2} \right]^2 - h_1 \quad (17)$$

ou

$$\frac{A_3}{A_2} > \sqrt{\frac{h_2 + h_1}{h_3}} \quad (18)$$

Essas foram as deduções e considerações estabelecidas por Kaufmann (1963), citado por Feitosa Filho (1998), utilizadas para expressar o princípio de funcionamento do injetor Venturi.

Rendimento dos Injetores

Os rendimentos dos injetores Venturi são a relação entre a energia útil do líquido na entrada do Venturi e a quantidade de energia transferida ao fluido motriz no processo de sucção.

O rendimento do injetor Venturi, segundo Ferreira et al. (1996) pode ser expressa teoricamente por:

$$N = \frac{Q_2 (H_3 - H_2)}{Q_1 (H_1 - H_3)}$$

onde:

N – rendimento (%);

Q – vazão motriz ou vazão de alimentação, m³.s⁻¹;

Q₂ – vazão sucção do Venturi, m³.s⁻¹;

H₂ – Energia de pressão por unidade de peso na entrada do injetor, mca;

H₁ – Energia de pressão por unidade de peso na câmara de mistura, mca;

H₃ – Energia de pressão por unidade de peso na tubulação pós injetor, mca.

O injetor Venturi, segundo Lopez et al. (1992), causa um rápido aumento na velocidade da água, o que origina uma sucção da solução fertilizante para o interior da tubulação. O fluxo de fertilizante injetado na rede estará em relação direta à pressão da água na entrada do mecanismo, com uma pressão mínima de 1,5 bar. A vazão varia com os modelos, sendo a mais usada entre 50 e 2.000 L h⁻¹. A vazão mínima que deve passar através desse equipamento depende de sua capacidade, varia de 1 m³ h⁻¹ para os modelos de 1" a mais de 20 m³ h⁻¹ para alguns de 2", de alta capacidade de sucção. As perdas de cargas são de 10 a 30% da pressão da tubulação onde for instalado. Alguns modelos produzem perda de carga entre 30% e 50%.

Na seleção de equipamento Venturi, é importante considerar os modelos com suas respectivas eficiências, capacidade de injeção e vazão de operação. Existem venturis que apresentam diversas capacidades de injeção de fertilizantes na linha de irrigação. Suas características quanto à eficiência, vazão mínima de funcionamento e capacidade de injeção são definidas durante o processo de fabricação e variam, normalmente, em função do modelo ou número do Venturi (Tabela 1) (Burt et al., 1998).

Tabela 1. Características técnicas do Venturi quanto à eficiência, vazão mínima de funcionamento e capacidade de injeção.

Modelo	Eficiência ⁽¹⁾ (%)	Capacidade de injeção (L h ⁻¹)
1	26	20
4	18	57
8	18	600
12	50	117
16	67	3767

(1) DP requerida para iniciar a sucção ou mínima diferença de pressão para criar vácuo.



Instalação do Injetor Venturi

A instalação do injetor Venturi depende das condições hidráulicas existentes, em função da pressão de serviço, da vazão motriz, do diferencial de pressão, acoplamento do equipamento em relação à tubulação principal do sistema de irrigação e das próprias dimensões do injetor. Existem três formas de instalação do Venturi: a) instalação do injetor diretamente na linha de abastecimento; b) instalação do injetor em paralelo; c) instalação do injetor por meio de uma derivação tipo "by pass" (Costa et al., 1994; Burt et al., 1998).

Calibração do Injetor Venturi

A injeção de produtos químicos é, geralmente, função das características dos produtos, do tamanho do Venturi e dos sistemas de irrigação. Por isso, se faz necessário o monitoramento do sistema de injeção em intervalos regulares ou no começo de cada operação. A calibração do injetor Venturi geralmente segue as recomendações do fabricante.

O Venturi quando instalado na linha principal é de difícil regulagem, porque a taxa de injeção é muito sensível à variação de pressão e vazão no sistema. Para evitar esse problema instala-se o Venturi em um "by-pass" na linha de irrigação, além de reduzir as perdas de cargas e facilitar a injeção (Costa et al., 1994).

A calibração dos equipamentos é de fundamental importância, por relacionar-se com a segurança do homem, economicidade e com a preservação do meio ambiente. O processo de calibração deve-se iniciar com a checagem do coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação. Em seguida, faz-se a calibração dos equipamentos de injeção dos produtos químicos e do sistema de irrigação.

A calibração, em laboratório, é relativamente simples e direta, necessitando-se, portanto, de um recipiente graduado, com capacidade, geralmente, de até 20 litros, um hidrômetro e um cronômetro. A calibração consiste em determinar a vazão derivada. Em seguida, faz-se a calibração, isto é, a vazão derivada é ajustada à taxa de aplicação do produto determinada antecipadamente. Por exemplo, deseja-se aplicar uma solução de fertilizante a uma taxa de 20 litros em 10 minutos. Com o sistema em funcionamento e o tanque em água, mede-se o tempo gasto para passar os 20 litros pelo hidrômetro. Caso o tempo seja menor que os 10 minutos, fecha-se um pouco o registro. Se maior, abre-se um pouco mais. Repete-se esse procedimento até obter a taxa desejada de 20 litros em 10 minutos. Na ausência de um hidrômetro, pode-se utilizar o cilindro graduado, coletando-se a vazão derivada em um tempo preestabelecido, ou determinando o tempo de uma vazão preestabelecida (Moreira & Stone, 1994).

Uniformidade de Distribuição de Fertilizantes Utilizando Injetores Venturi

A uniformidade de distribuição de fertilizantes na água de irrigação, injetado por tubo Venturi, depende da própria uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação. Portanto, quanto mais uniforme for o sistema, mais eficiente será a quimigação. Para obter-se boa uniformidade, é recomendado iniciar e terminar a injeção com a tubulação de irrigação completamente cheia de água. A pressão de serviço e a velocidade da água na tubulação podem afetar a uniformidade de distribuição do produto aplicado (Costa et al., 1994).

A baixa uniformidade na distribuição das soluções aplicadas na fertirrigação ocorre quando: a) o dimensionamento do sistema de irrigação for inadequado; b) ocorrer variação da taxa de injeção com o tempo de aplicação; c) a mistura da solução no tanque ou reservatório for inadequado; d) a velocidade da solução nas linhas laterais for baixa.

Segundo Pizarro (1987), os procedimentos básicos para melhorar a uniformidade de distribuição das soluções na fertirrigação são: a) condicionar mistura permanente da solução no tanque; b) instalar mais de um equipamento injetor em unidades distintas; c) usar fertilizantes mais solúveis; d) usar sistema de irrigação que permita uma melhor uniformidade de distribuição de água.

Feitosa Filho (1990) avaliou a uniformidade de distribuição de fertilizantes via água de irrigação por microaspersão, com injetores Venturi, analisando a uniformidade de distribuição espacial e temporal de fertilizantes, nas linhas laterais e na unidade de irrigação. Foram utilizados 21 microaspersores Dantas Ma-120, com pressão de serviço no início das linhas de 147,1 kPa (15 mca) aproximadamente, e vazão média por microaspersores de 88,73 L.h⁻¹. O cabeçal de controle consistiu em um filtro de tela, um medidor de vazão Venturi, um manômetro diferencial em "U" e dois injetores de fertilizantes (Venturi e tanque de derivação). A pressão no início das linhas laterais foi mantida em torno de 147,1 kPa (15 mca). Para a determinação da uniformidade de distribuição de fertilizantes em água de irrigação, utilizou-se o íon potássio. Cada teste constituiu-se de dez tempos distintos. Foram coletadas cinco amostras de cada ponto. Os testes foram feitos para tempo de fertirrigação de 60 minutos, coletando-se amostras nos tempos de 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 35 e 60 minutos. Adotou-se a concentração do cloreto de potássio de 70 ppm, seguindo as recomendações de Keller & Karmeli (1975), de que o teor de fertilizante na água de irrigação deve estar entre 4 e 100 ppm. Após a análise dos resultados, concluiu-se que: a) a distribuição do íon potássio ao longo da linha lateral, com o injetor Venturi, pode ser representada por um modelo linear, com o valor da inclinação bem próximo de zero; b) o injetor Venturi a partir de 4,0 minutos, apresentou uniformidade nos valores de potássio aplicados ao longo das linhas laterais, podendo esse tempo servir de parâmetro para planejamento de fertirrigação; c) o injetor Venturi permite boa uniformidade de distribuição do

fertilizante aplicado via água de irrigação, com os valores do índice proposto por Christiansen, superior a 94%; d) considerando a boa uniformidade de distribuição de fertilizante na água de irrigação, condicionada pelo injetor Venturi, seu baixo custo e fácil manuseio, esse equipamento pode ser recomendado e utilizado com êxito, na fertirrigação, provavelmente, na aplicação de outros produtos químicos e na irrigação por microaspersão.

Denículi et al. (1992) avaliaram o desempenho de um injetor de fertilizantes Venturi na fertirrigação por microaspersão. A unidade de irrigação constituiu-se de cabeçal de controle, um injetor de fertilizante Venturi e três linhas laterais de polietileno, com diâmetro nominal de $\frac{3}{4}$ ". Foram colocados em cada linha lateral 21 microaspersores Dantas MA-120, com pressão no início das linhas de 15 mca (147,09 kPa) e vazão média, por microaspersores de 88,73 L.h⁻¹, espaçados de três metros. Os testes foram feitos para tempo de fertirrigação de 60 minutos, com três repetições. Os tempos de coletas das amostras foram de 2, 4, 6, 8, 10, 15, 25, 35 e 60 minutos e concluíram: a) a distribuição de potássio pode ser representada por um modelo linear, com valor de inclinação de, aproximadamente 0,5 %, o que demonstra pouca influência da distância do microaspersor ao local de injeção nas massas de fertilizantes, distribuídas ao longo das linhas laterais; b) a partir do tempo de fertirrigação de oito minutos, já houve uniformidade entre os teores de potássio, ao longo das linhas laterais, podendo esse tempo servir de parâmetro para o planejamento da fertirrigação; c) o tempo de 60 minutos mostrou-se adequado para fertirrigação; d) considerando seu bom desempenho, baixo custo e fácil manuseio, o injetor Venturi pode ser utilizado, com êxito, na fertirrigação por microaspersor e na aplicação de outros produtos químicos solúveis em água.

Hidráulica do Injetor Venturi Simples

Kaufmann (1963), citado por Feitosa Filho (1998), avaliando o desempenho hidráulico de um injetor de fertilizante Venturi, instalado na rede de irrigação, verificou que o Tubo Venturi apresentou bom desempenho nos testes realizados, e recomendou a sua utilização em sistema de fertirrigação, mesmo quando utilizados na linha principal de irrigação. Porém, ao projetá-lo, deve-se estar atento a pressão de serviço da rede à jusante do mesmo, fator esse que irá refletir em sua capacidade de gerar vácuo e, conseqüentemente, aspirar solução de fertilizante para a linha de irrigação.

Ferreira (1993) avaliou as características hidráulicas de dois injetores de fertilizantes Venturi, confeccionados de polietileno com formato em ("T"). O injetor 1 (modelo Mazzei 1078) possuía 22 cm de comprimento, 19,6 mm de diâmetro interno e 7,6 mm de diâmetro interno no corpo cilíndrico (garganta); o injetor 2 (modelo Mazzei 584) possuía 15 cm de comprimento, 11,6 mm de diâmetro interno e 4,5 mm de diâmetro interno no corpo cilíndrico. Foram testados no injetor 1

as pressões de alimentação de 10, 15, 20, 25 e 30 mca e seus respectivos diferenciais de pressão: 2, 3 e 4; 4, 5 e 6; 4, 5 e 6; 6 e 7; e 7 e 8 mca. No injetor 2 testaram-se as pressões de alimentação de 10, 15, 20, 25 e 30 mca, com os respectivos diferenciais de pressão: 4 e 5; 5 e 6; 6 e 7; 7 ; 8 e 9; mca. Ao final dos treze ensaios com o injetor 1 e nove com o injetor 2 concluiu-se que: a) para ambos os injetores, a vazão de sucção aumentou com a elevação do diferencial de pressão, sendo constante a pressão de alimentação; b) a vazão de sucção diminuiu com o acréscimo da pressão de alimentação, mantendo-se constante o diferencial de pressão; c) a vazão de sucção aumentou com a elevação da pressão relativa de sucção para todos os casos estudados; d) para o injetor 1, o rendimento aumentou com o acréscimo do diferencial de pressão somente para a pressão de alimentação de 20 mca; e) para o injetor 2, o rendimento cresce com o aumento do diferencial de pressão somente para a pressão de alimentação de 15 mca; f) Para ambos os injetores, a vazão de sucção depende tanto da pressão de alimentação como do diferencial de pressão; (g) para o injetor 1, a menor perda de carga (20%) com maior vazão ocorreu para a pressão de alimentação de 10 mca e diferencial de pressão de 2 mca e para o injetor 2, a menor perda de carga foi 26,67%, para pressão de alimentação de 30 mca e diferencial de pressão de 8 mca.

Ferreira et al. (1996) estudaram o desempenho de um injetor de fertilizantes Venturi para fins de fertirrigação, modelo 1078, fabricado de polietileno, com 220 mm de comprimento, 19,6 mm de diâmetro interno nas seções de entrada e saída e 7,6 mm de diâmetro na seção contraída (garganta). Utilizaram as pressões de alimentação de 10, 15, 20, 25 e 30 mca e os respectivos diferenciais de pressão de 2, 3 e 4; 4, 5 e 6; 4, 5 e 6; 6 e 7; 7 e 8 mca. Avaliaram-se as relações entre tensão e vazão de sucção e o rendimento do injetor. Concluíram que a) a vazão de sucção aumentou com a elevação do diferencial de pressão, para pressão de alimentação constante; b) a vazão de sucção diminuiu com o aumento da pressão de alimentação, ao se manter constante o diferencial de pressão; c) a vazão de sucção diminuiu com o aumento da tensão, para todas as pressões de alimentação estudadas; d) o rendimento do injetor aumentou com a redução na tensão de sucção, em todos os diferenciais de pressão, atingindo o valor máximo de 16,28% na pressão de alimentação de 10 mca, diferencial de pressão de 2 mca e tensão de sucção de 1,43 mca; e) a maior vazão de sucção, 181,90 L.h⁻¹, ocorreu para pressão de alimentação diferencial de pressão de 6 mca e tensão de sucção de 2,79 mca, rendimento do injetor de 11,83%.

Comportamento do Injetor Venturi Duplo

Feitosa Filho (1998) e Feitosa Filho et al. (1998) avaliaram a instalação de injetores Venturi duplo como forma de ampliar seu limite operacional e uso na quimigação em condições de média e alta pressão. Utilizou-se injetor confeccionado com conexões hidráulicas tipo T em PVC. As pressões de serviço variaram de 147,09 kPa até 686,42 kPa, com incremento de 49,03 kPa. Concluíram que a instalação que utiliza duplo injetores permite ampliar o limite operacional dos injetores, principalmente nas pressões de serviço e nos diferenciais de pressão mais elevada. As dimensões do injetor secundário e os diferenciais de pressão no sistema com duplo injetores apresentaram influência significativa no desempenho do sistema.

Recomendações

Recomenda-se iniciar a fertirrigação após $\frac{1}{4}$ do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, deixando-se ligado o injetor de fertilizante Venturi durante a metade do tempo programado para a irrigação. Em seguida, desliga-se o Venturi e deixa o sistema funcionando até o término da irrigação, para lavá-lo;

Iniciar e terminar a injeção de produtos químicos com a tubulação de irrigação completamente cheia de água;

Instalar o Venturi paralelo à linha principal, visando reduzir as perdas de carga; O pH e a condutividade elétrica da solução dos fertilizantes e a água na saída dos emissores devem ser monitorados;

Considerações Gerais

Os injetores de fertilizantes, preferencialmente o Venturi, devem ser parte integrante do cabeçal de controle dos sistemas de irrigação localizada, por serem de boa eficiência, de baixo custo, de fácil operacionalização, de construção simples, sem peças móveis e por dispensarem, geralmente, energia externa ao sistema;

Fertilizantes nas tubulações (linha principal, de derivação e lateral) contribuem para a proliferação de microorganismos (algas e fungos), podendo provocar entupimento dos emissores e corrosão nas peças metálicas do sistema de irrigação;

O resultado do uso do Venturi depende da uniformidade da injeção dos produtos químicos e do sistema de irrigação. Ambos devem ser avaliados e calibrados antes de serem usados;

A pressão de serviço e a velocidade da água na tubulação podem afetar a uniformidade de distribuição do produto químico;

A eficiência do Venturi está diretamente condicionada ao dimensionamento adequado do sistema de irrigação, aos fertilizantes mais solúveis e ao tempo de aplicação em relação à taxa de injeção;

A utilização do injetor Venturi duplo amplia o limite operacional do sistema.

Referências Bibliográficas

BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.

BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. Fertigation. Califórnia: California Polytechnic State University, 1998. p. 15-42.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. Revista Item, Brasília, n. 49, p. 8-13.

COSTA, E. F. da, VIEIRA, R. F. ; VIANA, P. A. Métodos de aplicação de produtos químicos e biológicos na irrigação pressurizada. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F; VIANA, P. A. Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: Embrapa-SPI; Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS 1994, p. 85-106.

DENÍCULI, W. Medidores de vazão do tipo orifício. Viçosa: UFV, 1985. 43 p.

DENÍCULI, W. , FEITOSA FILHO, J. C. ; LOUREIRO, B. T. ; AMARAL, F. A. L. Desempenho do injetor de fertilizantes venturi na fertirrigação por microaspersão. Revista Ceres, v. 39, n. 226, p. 554-563, nov. e dez., 1992.

FEITOSA FILHO, J. C. Uniformidade de distribuição de fertilizantes via água de irrigação por microaspersão, com injetores tipo venturi e tanque de derivação. Viçosa: UFV, 1990. 77p. (Dissertação de Mestrado).

FEITOSA FILHO, J. C.; BOTREL, T. A; PINTO, J. M. Influência das formas de instalação no desempenho de injetores tipo venturi utilizados na quimigação. Actas de Horticultura, v.1, n.19, p. 443-449, 1997. (Edição de Anais do Congresso Iberico de Fertirrigacion, 3. Congresso Nacional de Fertirrigation, 1997, Murcia)

FEITOSA FILHO, J. C. Otimização hidráulica e manejo de injetores tipo venturi duplo para fins de quimigação. Piracicaba, SP: ESALQ, 1998. 164 p. Dissertação (Doutorado em Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FEITOSA FILHO, J. C. , BOTTREL, T. A ; PINTO, J. M

Instalação de injetores tipo venturi duplo como forma de ampliar seu limite operacional e uso na quimigação em condições de média e alta pressão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas, MG. *Anais... Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola*, 1998. v.1 p. 4-6.

FERREIRA J.O. P. **Caracterização hidráulica de dois injetores de fertilizantes do tipo venturi**, 1993. 76p. Dissertação (Mestrado em Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba).

FERREIRA, J. O. P.; FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. Desempenho de um injetor de fertilizantes do tipo venturi para fins de fertirrigação. *Revista Scientia Agrícola*. Piracicaba, v.53, n.1, p. 105-113. 1996.

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

LOPEZ, M. T. Cabezal de riego. In: LOPEZ, C . C. *Fertirrigation: cultivos horticolas y ornamentales*. 5 ed. Espanha. 1998. p. 247-263.

LOPEZ, J. R., HERNANDO ABREU, J. M., PEREZ REGALADO, A; GONZALEZ HERNANDEZ, J. F. **Riego localizado**. Madrid: Mundi - Prensa, 1992. p. 75-87.

KELLER, J. **Sprinkler and trickle irrigation**. Logan: Utah State University, 1984. 621 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. California: Rain Bird Sprinkler manufacturing corporation, 1995. 133p. (mimeografado).

MOREIRA, J. A. A., STONE, L. F. Calibração. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa-SPI; Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1994, p. 159-179.

PADILHA G. W. A. **Lo que usted desea saber del suelo su analisis e interpretacion para fertirrigacion**. Quito: (s.ed.), 1998. 121 p.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid, Espanha: Mundi-Prensa, 1987. 461 p.

RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C. **Sistema de irrigação e seus componentes**. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R.F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa-SPI; Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1994 p. 41-48.

SOUSA, V. F. de; **Sistemas e equipamentos para aplicação de fertilizantes**.

Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p. 68-76. Apostila do I Curso de Fertirrigação em fruteiras, realizado em nov. 2001, Teresina, PI. In: I Curso de fertirrigação em fruteiras. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2001. p.68-76. Apostila.

Embrapa

Meio-Norte

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**