

Fertirrigação

Eugênio Ferreira Coelho¹

Edio Luiz da Costa²

Ana Lucia Borges³

Torquato Martins de Andrade Neto⁴

José Maria Pinto⁵

Resumo - A fertirrigação, técnica de aplicar fertilizantes via água de irrigação, difere significativamente da aplicação via solo, em especial por acelerar o ciclo dos nutrientes utilizados. A disponibilidade de fertilizantes solúveis no mercado, o custo de mão de obra rural na adubação convencional, o constante incremento de área irrigada no Brasil, sob irrigação pressurizada, tudo isso tem incentivado os produtores a adotarem a fertirrigação, uma vez que os custos de implantação, comparados aos custos totais, viabilizam o seu uso. O conhecimento da dinâmica de íons no solo, principalmente do nitrogênio (N) e do potássio (K), tem permitido estabelecer critérios de aplicação desses nutrientes ao solo pela fertirrigação. O conhecimento da necessidade de nutrientes pelas culturas, da marcha de absorção desses nutrientes durante o ciclo, da frequência mais adequada de aplicação desses nutrientes permite determinar a quantidade de fertilizantes e a fase do ciclo em que esses devem ser aplicados. Além disso, é preciso conhecer também o volume de água necessário para compor a solução a ser injetada no sistema de irrigação. A fertirrigação necessita, entretanto, de acompanhamento e avaliação contínua, a fim de evitar impactos negativos ao solo pelo uso indevido da técnica. Isso pode ser feito por meio de acompanhamento da condutividade elétrica da solução ou do extrato de saturação do solo.

Palavras-chave: Manejo de água. Fertilizante. Equipamento. Bomba de irrigação. Tanque fertilizante.

INTRODUÇÃO

A fertirrigação é uma técnica que viabiliza o uso racional de fertilizantes na agricultura irrigada, uma vez que aumenta a eficiência do seu uso, reduz a mão de obra e o custo com máquinas, além de flexibilizar a época de aplicação, podendo ser fracionada conforme a necessidade da cultura. Na fertirrigação, o tempo de chegada do fertilizante às raízes das plantas é

significativamente reduzido, em razão de o fertilizante encontrar-se misturado na água que será aplicada ao solo compondo sua solução nutritiva. Na aplicação convencional, os nutrientes sólidos são depositados próximo da planta e na superfície do solo e há necessidade de chuva ou irrigação para entrarem na solução do solo, podendo ou não ser interceptados pelo sistema radicular. Mas, muitas vezes, esses fertilizantes sólidos são depositados em posições que

podem não corresponder à região do solo de maior concentração de raízes.

Este artigo objetiva expressar conhecimentos e experiências sobre o uso da fertirrigação nas condições edafoclimáticas do Brasil.

ASPECTOS BÁSICOS

O sucesso da fertirrigação depende da distribuição de água às plantas, o que deve ocorrer o mais uniforme possível, uma vez

¹Eng^a Agrícola, Ph.D., Pesq. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Caixa Postal 007, CEP 44380-000 Cruz das Almas-BA. Correio eletrônico: ecoelho@cnpmf.embrapa.br

²Eng^a Agrícola, D.Sc., Pesq. EPAMIG Centro-Oeste/Bolsista FAPEMIG, Caixa Postal 295, CEP 35701-970 Prudente de Morais-MG. Correio eletrônico: edio.costa@epamig.br

³Eng^a Agr^a, D.Sc., Pesq. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Caixa Postal 007, CEP 44380-000 Cruz das Almas-BA. Correio eletrônico: analucia@cnpmf.embrapa.br

⁴Eng^a Agr^a, D.Sc. Correio eletrônico: andradeneto@hotmail.com

⁵Eng^a Agrícola, Dr., Pesq. Embrapa Semiárido, Caixa Postal 23, CEP 56302-970 Petrolina-PE. Correio eletrônico: jmpinto@cpatsa.embrapa.br

que os nutrientes são dissolvidos na água e, se houver desuniformidade da água aplicada, haverá desuniformidade na distribuição de nutrientes, isto é, as plantas receberão quantidades diferentes. Na irrigação por aspersão, coeficientes de uniformidade de distribuição (UD) acima de 85% são possíveis em condições especiais de aspersão convencional, minimizando a variação entre a vazão dos emissores e com um espaçamento entre aspersores que permita tal coeficiente, dentro de determinadas condições meteorológicas. Os sistemas de pivô central dos tipos low elevation spray application (LESA), medium elevation spray application (MESA) e low energy precision application (LEPA) enquadram-se em valores de coeficientes de uniformidade iguais ou superiores a 85%. Karmeli e Keller (1975) sugerem uma variação máxima de 5% na vazão dos emissores. Na irrigação localizada, o uso de emissores autocompensantes garante uma vazão uniforme na linha lateral, minimizando o efeito da variação de pressão.

A fertirrigação é mais recomendada para os sistemas de irrigação localizada (BRESLER, 1977; HERNÁNDEZ ABREU et al., 1987). A fertirrigação ajusta-se muito melhor ao sistema de gotejamento que ao de microaspersão, em razão de, no gotejamento, o sistema radicular da cultura coincidir com as regiões de maiores valores de umidades do volume molhado gerado por um ou mais gotejadores, otimizando, com isso, o aproveitamento dos fertilizantes. Na microaspersão, isso ocorre quando se usa um microaspersor por planta ou uma faixa molhada contínua. No gotejamento, todo o volume aplicado infiltra em uma pequena área, gerando um volume molhado menor, com níveis de umidade internos que podem chegar próximo ou à saturação temporária. Nesse caso, os fertilizantes dissolvidos tendem a suprir a adsorção das micelas, permitindo maior avanço dos nutrientes no solo em profundidade ou em distância do emissor, a depender da sua vazão e do tipo de solo. Na microaspersão, e de forma mais agravante

na aspersão, o volume de solo molhado é significativamente maior. Isto resulta em menores valores de umidade ao longo da área molhada, com menor quantidade de íons em solução, insuficiente para atender à adsorção do solo, limitando o avanço desses íons em profundidade (BAR-YOSEF, 1999).

É comum o uso de um microaspersor para quatro plantas, no caso de fruteiras, como a bananeira e o mamoeiro, cujo emissor é posicionado no centro das quatro plantas. A distribuição individual da água, próxima ao entorno do microaspersor, tende a seguir uma distribuição tipo sino, com lâminas mais elevadas próximas deste e menor, à medida que se afasta do emissor. A distribuição do fertilizante em solução segue a da lâmina de irrigação. Dependendo da vazão e do raio de ação do emissor e do espaçamento entre plantas, se estas estiverem numa posição onde a lâmina de irrigação é reduzida, os íons em solução poderão não ser suficientes para atender à adsorção do solo, ficando indisponíveis à absorção pelas raízes. No uso de um emissor para quatro plantas, deve-se ater ao espaçamento entre plantas que deve ser, de preferência, em fileiras duplas e à escolha de um emissor que tenha um raio de ação suficiente para aplicar as quantidades necessárias de fertilizantes no entorno das plantas.

A distribuição dos solutos na solução do solo nos diferentes pontos do perfil entre dois eventos de fertirrigação depende da mobilidade desses e das reações com a matriz do solo a que estão sujeitos, isto é, do meio poroso, do nutriente (íon) e da fonte de aplicação. O transporte de solutos no solo está inserido no movimento de água e pode ser feito por:

- a) convecção: processo passivo de movimento de massas líquidas com solutos dissolvidos, em resposta a gradientes de potenciais, em que a água e o soluto movimentam-se à mesma taxa;
- b) difusão: resultante do movimento desordenado de moléculas, visa

equalizar as concentrações no meio poroso, onde os solutos se movem de regiões de maior concentração para a de menor concentração;

- c) dispersão: dá-se pelas diferenças e velocidades da água em capilares e poros de diferentes tamanhos e formas, o que causa uma mistura (dispersão) de soluções residentes em dadas regiões do solo com soluções que entram nessas regiões.

Os íons do solo movimentam-se por meio de fluxos convectivos e/ou dispersivos.

Os principais nutrientes aplicados via fertirrigação referem-se ao nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P). Qualquer fonte de N aplicada resulta em íons de nitrato no perfil do solo, os quais são altamente solúveis em água e não adsorvidos às partículas do solo, o que os tornam altamente móveis, tanto por convecção como por difusão no solo. O P tem suas restrições à aplicação via água de irrigação, por sua característica de adsorção à matriz do solo, com conseqüente baixa mobilidade e enorme possibilidade de precipitação dos fosfatos (HAYNES, 1985; CHASE, 1985). Se aplicado na superfície do solo em forma sólida, não se move mais que 3 cm, porém, em condições de fertirrigação, pesquisas têm registrado movimento de 0,20 m, tanto horizontal como vertical em profundidade, a partir de um gotejador, num solo franco-arenoso (ROLSTON et al., 1979).

O K movimenta-se no solo conforme a sua concentração na solução deste e a capacidade de troca catiônica (CTC). Pesquisas têm mostrado que o K aplicado via gotejamento resulta em avanços laterais e verticais do nutriente de 0,60 m a 0,75 m de distância do emissor (ROLSTON et al., 1979). Avaliações da distribuição do K no volume molhado do solo gerado pela microaspersão, em bananeira, mostraram que as maiores incidências do nutriente e as suas maiores variações com o tempo ocorreram até 0,40 m de profundidade no perfil do solo (SILVA et al., 2002).

Um ponto a ser observado na fertirrigação é a dinâmica de íons no solo e o balanço catiônico-aniônico na solução do solo. Nesse balanço, um tipo de cátion ou ânion em excesso na solução poderá ser mais absorvido pelas raízes, limitando a absorção de outros cátions importantes (VIEIRA; COSTA; RAMOS, 2001). Caso se aplique N na forma de NH_4^+ , em excesso, isso provocará uma redução da absorção dos outros cátions, K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} , bem como absorção acima do normal de fosfatos, sulfatos e cloretos. O aumento de NO_3^- na solução do solo provoca a redução da absorção do cloreto, fosfato e sulfatos e aumento da absorção de K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} (BURT; O'CONNOR; RUEHR, 1995). Em casos de presença de Na^+ e Ca^{++} na solução do solo, em concentrações elevadas, inibe-se a absorção de K^+ .

FERTILIZANTES PARA FERTIRRIGAÇÃO

Os fertilizantes utilizados na fertirrigação devem-se adequar ao sistema de irrigação, às exigências das plantas, bem como apresentar alta solubilidade. O N é o nutriente mais aplicado em fertirrigação e pode-se apresentar nas formas químicas: nítrica [nitrato de cálcio – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; nitrato de potássio – KNO_3 ; nitrato de magnésio – $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$]; amoniacal [(DAP) – $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; MAP – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; sulfato de amônio – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]; nítrica-amoniacal (nitrato de amônio – NH_4NO_3); amídica [ureia – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]. De modo geral, as fontes nitrogenadas apresentam alta solubilidade, elevado índice salino e alto índice de acidez (Quadro 1).

O P pode ser aplicado na forma de ácido fosfórico, fosfato monoamônico (MAP),

fosfato diamônico (DAP) e, mais recentemente, como monofosfato de potássio (MKP). Existe um alto risco de precipitação de fosfatos, como fosfato tricálcico, se as águas contiverem cálcio (Ca) e o pH for superior a 6,5.

Dentre as fontes de K, têm-se o cloreto, o sulfato e o nitrato de potássio (Quadro 2). O cloreto e o nitrato de potássio possuem alta solubilidade, enquanto o sulfato de potássio, além de pouco solúvel, possibilita a formação de sulfato de cálcio, ainda menos solúvel, quando a água de irrigação é rica em Ca e magnésio (Mg).

A melhor fonte de Ca para fertirrigação é o nitrato de cálcio (Quadro 1), por ser a mais solúvel. Nesse caso, recomenda-se adicionar ácido nítrico concentrado (0,3 L/kg de nitrato de cálcio), quando o pH da água de irrigação for superior a 6,5.

QUADRO 1 - Características dos fertilizantes nitrogenados utilizados na fertirrigação

Fertilizante	Concentração do nutriente (g/kg)		Solubilidade (g/L) a 20 °C	⁽¹⁾ Índice salino	⁽²⁾ Índice salino/unidade	⁽³⁾ Índice de acidez/basicidade
	N	Outros				
Ureia	450	-	780	75	1,63	71
Sulfato de amônio	205	240 de S	710	69	3,37	110
Nitrato de amônio	340	-	1.180	105	3,28	60
Nitrato de cálcio	140	280 de Ca	1.020	61	4,36	Básico (-20)
Nitrato de magnésio	110	95 de Mg	2.500	-	-	Básico
Nitrato de potássio	140	440 de K_2O	320	31	2,21	Básico (-15)
Nitrato de sódio	160	-	730	100	6,25	Básico (-29)
Uran	320	-	Alta	-	-	Ácido
Fosfato diamônico (DAP)	170	400 de P_2O_5	400	34	2,00	88
Fosfato monoamônico (MAP)	110	440-600 de P_2O_5	230	30	2,73	60
MAP purificado	120	440-610 de P_2O_5	370	30	2,73	60
Fosfato de amônio	60-100	300	Alta			
Fosfato de ureia	180	440 de P_2O_5	Alta			

FONTE: Vitti, Boaretto e Penteado (1994) e Villas Bôas, Bull e Fernandes (1999).

(1)Relativo ao valor do índice salino do nitrato de sódio (NaNO_3) considerado como 100. (2)Índice salino dividido pelo teor de N no fertilizante x 10. (3)Quantidade de CaCO_3 necessária para neutralizar 100 kg do adubo (+) e "adicionadas" pela aplicação de 100 kg de adubo (-).

QUADRO 2 - Características dos fertilizantes potássicos utilizados na fertirrigação

Fertilizante	Concentração do nutriente (g/kg)		Solubilidade (g/L) a 20 °C	⁽¹⁾ Índice salino	⁽²⁾ Índice salino/unidade	Índice de acidez/basicidade
	K ₂ O	Outros				
Cloreto de potássio	600	480 de Cl	340	115	1,92	Neutro
Sulfato de potássio	520	170 de S	110	46	0,88	Neutro
Nitrato de potássio	460	130 de N	320	74	1,68	Básico
Nitrato de sódio e potássio	140	140 de N	623	31	2,21	Básico
Sulfato de potássio e magnésio (K-Mg)	220	220 de S + 110 de Mg	290	43	1,95	-
Fosfato de potássio e magnésio	190	550 de P ₂ O ₅ + 48 de Mg	400	-	-	-
Monofosfato de potássio (MKP)	340	520 de P ₂ O ₅	230	8	0,24	Neutro

FONTE: Coelho (1994) e Vitti Boaretto e Penteado (1994).

(1)Relativo ao valor do índice salino do nitrato de sódio (NaNO₃) considerado como 100. (2)Índice salino dividido pelo teor de K₂O no fertilizante x 10.

A aplicação de Ca via água de irrigação é vantajosa para culturas que apresentam demanda elevada por este nutriente, como a mangueira e a videira.

O Mg pode ser suprido na forma de sulfato de magnésio (90-160 g de Mg/kg e 120-140 g de S/kg), pois apresenta alta solubilidade (710 g/L de água) e pH 6,5. Existem também o nitrato de magnésio (pH 6,0-7,0, CE 1,1 dS/m, densidade 1,4 g/mL) (Quadro 1) e o sulfato de potássio e magnésio (Quadro 2).

O enxofre (S), na forma de sulfato (SO₄²⁻), apresenta alta mobilidade no solo, como o N, existindo fontes solúveis para sua aplicação via fertirrigação. De maneira geral, o fornecimento desse nutriente é feito por meio de fertilizantes carreadores de macronutrientes primários (N, P e K). O sulfato de amônio (Quadro 1) e o sulfato de potássio (Quadro 2) são as fontes mais empregadas, existindo ainda o sulfato de magnésio. Na forma de fertilizante fluido existe a fórmula 20-00-00 + 4% S (sulfurran), que é obtida pela adição de sulfato de amônio ao uran. Os micronutrientes podem ser encontrados na forma de sais e quelatos (Quadro 3).

Micronutrientes como o zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) e manganês (Mn) podem reagir com sais da água de irrigação e causar precipitação e entupimento. Neste

QUADRO 3 - Características dos fertilizantes contendo micronutrientes utilizados na fertirrigação

Fertilizante	Concentração de nutriente (g/kg)	Solubilidade (g/L)
Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	160 de B	50
Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O)	110 de B	50
Molibdato de amônio ((NH ₄) ₂ MoO ₄)	480 de Mo	400
Molibdato de sódio (Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O)	390 de Mo	560
Quelato de Fe (NaFeEDDHA)	60 de Fe	140
Quelato de zinco (Na ₂ ZnEDTA)	140 de Zn	-
Sulfato de cobre (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	250 de Cu	220
Sulfato de ferro (FeSO ₄ ·7H ₂ O)	190 de Fe	240
Sulfato de manganês (MnSO ₄ ·4H ₂ O)	280 de Mn	1.050
Sulfato manganoso (MnSO ₄ ·3H ₂ O)	270 de Mn	742
Sulfato de zinco (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	220 de Zn	750
Solubor (Na ₂ B ₃ O ₁₃ ·4H ₂ O)	200 de B	220

FONTE: Vitti Boaretto e Penteado (1994) e Villas Bôas, Büll e Fernandes (1999).

caso, são aplicados como quelatos, que são facilmente solúveis e causam poucos problemas de precipitação e entupimento.

Considerações gerais sobre fertilizantes para fertirrigação

Os fertilizantes empregados via água de irrigação são sólidos e líquidos (fluidos).

Os sólidos devem ser altamente solúveis e os nitrogenados são os mais utilizados (Quadro 1), como também as fontes potássicas, principalmente o cloreto e o nitrato, que apresentam maior solubilidade (Quadro 2). Os fertilizantes líquidos são apresentados em três formas:

- soluções claras: soluções puras ou perfeitas, empregadas tanto na

fertirrigação por aspersão quanto por gotejamento. As soluções nitrogenadas são as mais comuns, como o uran (320 g de N/L, pH 6,0-7,0, densidade 1,32 g/mL);

- b) soluções coloidais: soluções líquidas compostas, obtidas pela reação do ácido fosfórico com amônia;
- c) misturas em suspensão: mistura a frio, sem reação química, obtida a partir das formulações fluidas (32-00-00, 10-30-00, 6-30-00) em conjunto com cloreto de potássio.

As compatibilidades entre os fertilizantes na mistura de mais de um tipo de fertilizante devem ser consideradas, a fim de evitar a formação de precipitados dentro dos condutos de água do sistema de irrigação. A maioria das misturas é compatível, exceto o sulfato de amônio com nitrato de cálcio, nitrato de cálcio com sulfato de potássio ou com fosfato de amônio, ou com sulfatos de Fe, Zn, Cu e Mn, ou com ácido fosfórico ou ácido sulfúrico

O poder de corrosão dos fertilizantes é variável e pode afetar os equipamentos de fertirrigação. Os materiais plásticos são mais resistentes que os metais. A lavagem do sistema de irrigação com água pura, por aproximadamente 30 minutos, minimiza os riscos de corrosão. A temperatura da água, recomendada em torno de 20 °C e a pureza do fertilizante interferem na sua solubilidade. Os fertilizantes precisam ser solúveis para que a concentração final do nutriente na solução seja, de fato, a calculada, como também para não causar entupimentos nos emissores, principalmente nos gotejadores. Alguns problemas de salinidade podem surgir em razão do manejo inadequado do fertilizante, da quantidade aplicada e da sua escolha, bem como da qualidade da água de irrigação. Os índices salinos de alguns fertilizantes são apresentados nos Quadros 1 e 2. Fontes de nutrientes que tenham caráter ácido, no caso dos nitrogenados (Quadro 1), principalmente em fertirrigação por gotejamento, onde o fertilizante se encontra em zona restrita de solo molhado, geram um

efeito de acidificação mais intenso e podem promover a redução do pH em um único ciclo da cultura.

EQUIPAMENTOS PARA FERTIRRIGAÇÃO

Todo sistema de injeção de fertilizante requer um reservatório para dissolução dos produtos químicos, um sistema de agitação para estes produtos e deve resistir à corrosão causada pelos fertilizantes (Fig. 1). O volume mínimo do reservatório deve ser suficiente para a fertirrigação de uma unidade, sem que se requeira o reabastecimento. O volume do reservatório pode ser calculado pela seguinte fórmula:

Equação 1:

$$V = \frac{nQ \cdot A}{\text{sol}}$$

em que:

V = volume do reservatório, em m³;

n = número de aplicações ;

Q = quantidade de fertilizantes, em kg/ha;

A = área a fertirrigar, em ha;

sol = solubilidade do fertilizante, em kg/m³.

Tanque de derivação ou tanque fertilizante

Depósito onde se coloca a solução que se quer incorporar ao solo e que, uma vez fechado, alcança em seu interior a mesma pressão que a rede de irrigação. Por isso, o tanque deve ser capaz de suportar a pressão estática e dinâmica da rede. O normal é que resista à pressão de cerca de 300 kPa, como mínimo, ainda que se recomenda suportar uma pressão de trabalho próxima de 600 kPa. Esses dispositivos são colocados em paralelo em relação à tubulação de irrigação, sendo que a diferença de pressão da ordem de 10 e 50 kPa, entre a entrada e a saída do tanque de fertilizante, causadora do fluxo por meio do tanque, é conseguida por intermédio da instalação de um registro na linha principal do sistema, entre os pontos de saída para o tanque e de retorno do tanque (Fig. 2).

Para a injeção do fertilizante na tubulação de irrigação fecha-se o registro que está na linha principal, para que parte da água destinada à irrigação passe pelo tanque. Portanto, a vazão até o tanque pode ser regulada mediante o registro na linha principal. Como a vazão de água que entra no tanque é igual a vazão da solução de fertilizante que sai, evidentemente a



Figura 1 - Tanque para dissolução de fertilizantes

solução de fertilizante que fica no tanque vai-se diluindo com o tempo de funcionamento, assim como a concentração da solução incorporada à rede que também vai diminuindo.

Injetor tipo Venturi

A concentração da solução fertilizante no injetor tipo Venturi é constante no decorrer do tempo de aplicação. O princípio de funcionamento consiste no estrangulamento do fluxo da água de irrigação, que provoca aumento de velocidade e uma pressão negativa que causa a aspiração da solução fertilizante (Fig. 3 e 4).

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

Bomba injetora

A solução fertilizante contida num reservatório aberto é introduzida ao sistema de irrigação com pressão superior à da água de irrigação, em concentração constante, por meio de uma bomba elétrica ou hidráulica. As bombas injetoras com motores elétricos são desenvolvidas para a injeção de fertilizantes. São bombas de deslocamento positivo, de pistão ou de membrana, acionadas por um motor elétrico de baixa potência, fabricada com materiais não corrosivos (Fig. 5).

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

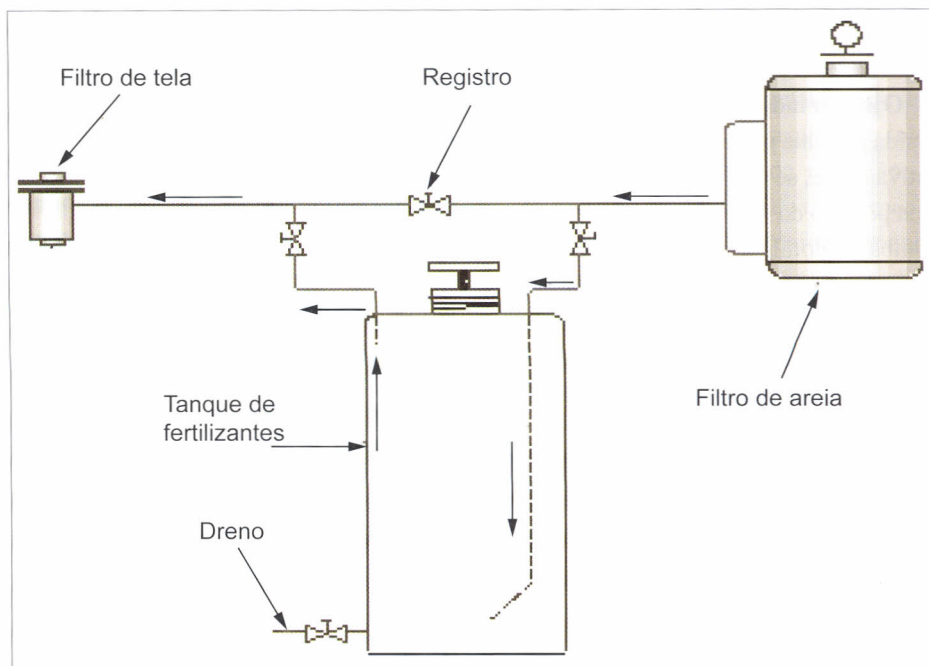


Figura 2 - Tanque de fertilizante

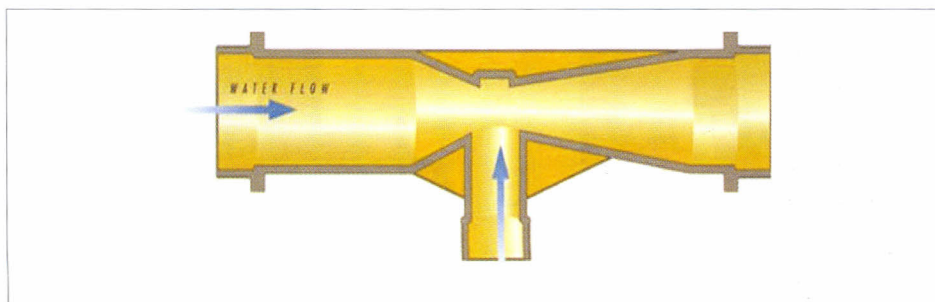


Figura 3 - Detalhe do sistema hidráulico Venturi

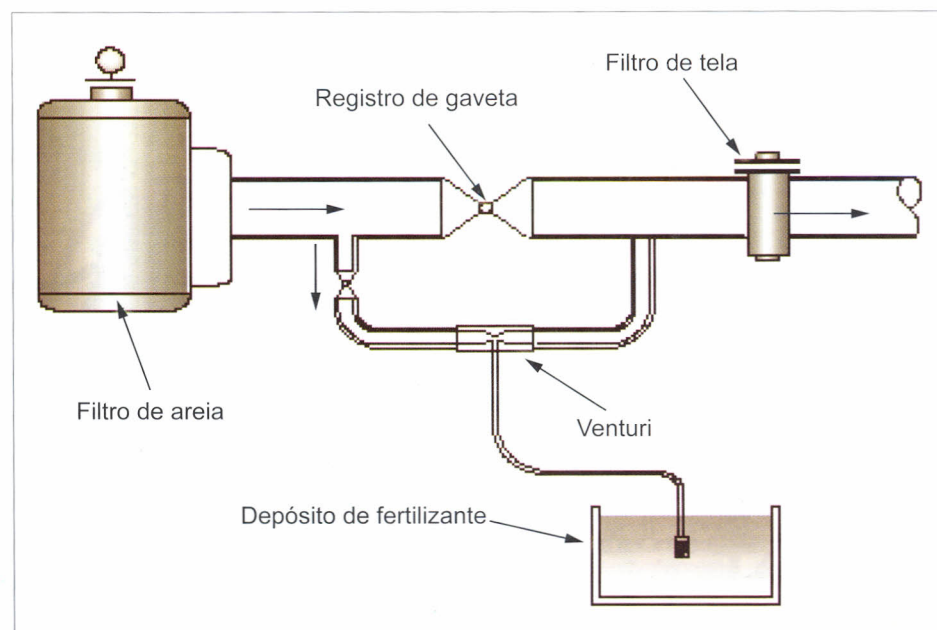


Figura 4 - Esquema de injetor tipo Venturi

Bomba injetora com acionamento hidráulico

O injetor hidráulico é uma bomba constituída por uma pequena câmara que, alternativamente, se enche e esvazia, acionada pela pressão da rede de irrigação. Como a bomba injetora por acionamento hidráulico, o dosificador hidráulico acionado por pistão também não requer energia elétrica para o seu funcionamento. Sua instalação é da mesma forma que a do injetor Venturi, sendo indicado em instalações comunitárias, donde a água é fornecida com pressão muito superior à necessária, ou então, quando se dispõe de um reservatório que se encontra em uma cota muito elevada. Por causa da complexidade do equipamento,

por possuir numerosas peças móveis, a qualidade da água é de fundamental importância considerando que, qualquer impureza pode afetar o bom funcionamento do injetor. Na Figura 6, apresenta-se o modelo comercial Dosatron e as formas de instalação do equipamento. Este tem a capacidade de injetar soluções fertilizantes uniformemente na faixa de 0,02 a 250 L/h, em uma razão de diluição de 1:500 a 1:50, ou seja, de 0,2% a 2%.

MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO

A fertirrigação, como a irrigação, envolve uma série de atividades que requer conhecimentos relativos à cultura, às condições de solo e ao manejo da irrigação.

A fertirrigação adequadamente executada deve fornecer ao solo a quantidade de nutrientes para atender à planta, especificamente no estágio em que se encontra. Deve ser aplicada dentro de uma frequência que favoreça a dinâmica dos íons no solo com o mínimo risco de perdas e deve ser executada para não causar desbalanços iônicos desfavoráveis à cultura, com impactos negativos nos atributos químicos do solo.

Como primeiro passo, é necessário, na fertirrigação, o conhecimento da quantidade total do nutriente (QTN) a ser aplicado à cultura em seu ciclo. A necessidade de nutrientes para uma cultura é calculada pela seguinte fórmula:

Equação 2:

$$QTN = \frac{QTN_{ex} - QTN_s}{E_f}$$

em que:

QTN = quantidade total do nutriente (kg);

QTN_{ex} = quantidade de nutrientes exportados pela planta (kg);

QTN_s = quantidade de nutrientes a ser fornecido pelo solo (t);

E_f = eficiência da fertirrigação.

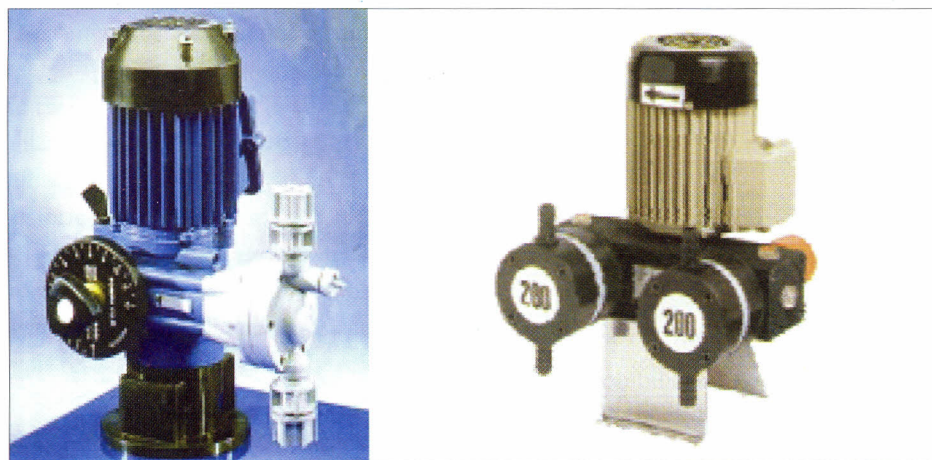


Figura 5 - Bomba injetora com motor elétrico

José Maria Pinto

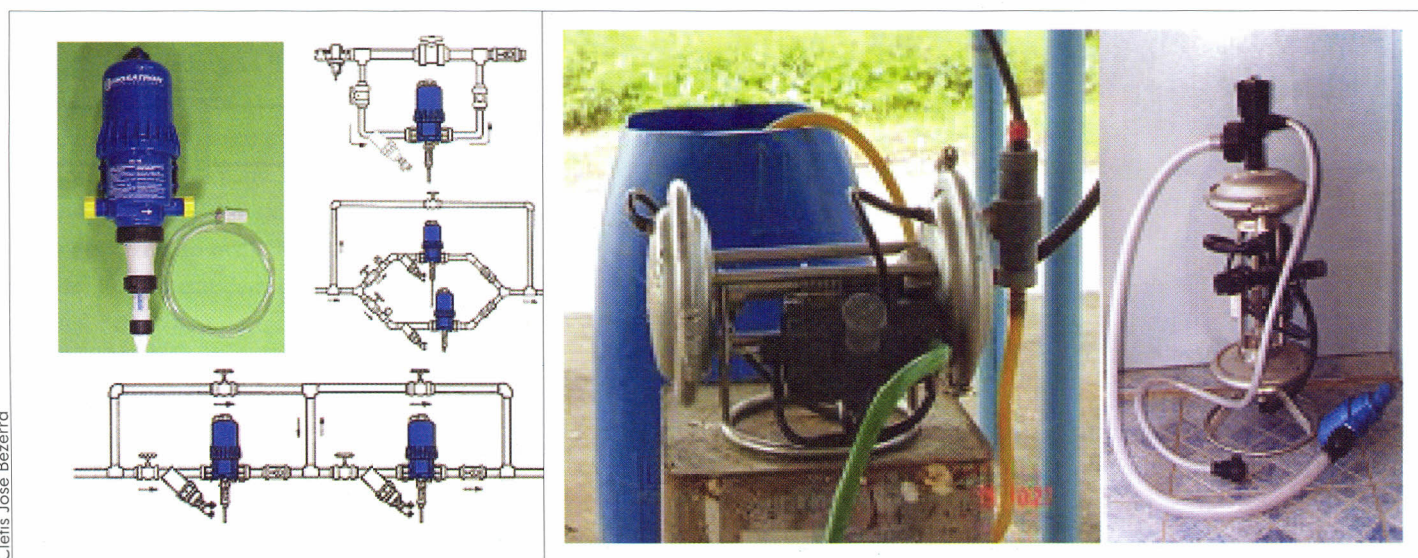


Figura 6 - Bomba injetora com acionamento hidráulico TMB e por pistão

Clelis José Bezerra

Fotos: José Maria Pinto

Essa QTN pode ser recomendada em kg/ha, em função da necessidade da cultura e da disponibilidade do nutriente no solo, que varia com a produtividade esperada ou pode ser calculada em função da profundidade do sistema radicular da cultura, da densidade do solo, área do solo ocupada pelas raízes e dos nutrientes disponíveis, conforme análise de solo. Com essas informações, calculam-se a massa de solo ocupada pelas raízes, a quantidade de nutrientes disponíveis nessa massa e a quantidade de nutrientes necessária.

Uma vez conhecida a quantidade de nutrientes a ser aplicada durante o ciclo, é preciso avaliar o consumo destes pelas plantas ao longo do ciclo, isto é, a curva de absorção de nutrientes do solo. Essa curva permite avaliar a taxa de extração de um nutriente pela cultura em suas diferentes fases fenológicas. O Gráfico 1 representa a curva de absorção de nutrientes para

a bananeira (SOTO BALLESTEROS, 2000). A declividade da curva expressa a taxa de absorção dos nutrientes, sendo que, no caso do N e K, por exemplo, a taxa apresenta-se constante durante o início do desenvolvimento vegetativo, aumentando em seguida, mantendo-se constante até próximo à colheita, reduzindo-se imediatamente antes desta, caracterizando três fases de absorção. A quantidade absorvida em cada fase dividida pela QTN resulta na porcentagem da quantidade total (PDF), necessária no ciclo naquele período. Essa porcentagem permite obter a quantidade de nutriente a ser aplicada nas fases do ciclo (QNF), conforme a taxa de absorção dessas fases.

Uma vez definida as quantidades de fertilizantes a serem aplicadas nas fases de diferentes taxas de absorção, é necessário definir a frequência da fertirrigação (Ff), em função do tipo de fertilizante, do

solo, da cultura e do sistema de irrigação. Fertilizantes com maior potencial de lixiviação, como os nitrogenados, devem ser aplicados com maior frequência, solos com maior capacidade de retenção de água podem ser fertirrigados com menor frequência, culturas de maior demanda nutricional e de ciclo curto requerem maior Ff do que culturas de menor demanda e ciclos mais longos. No caso de hortaliças, a fertirrigação pode acompanhar a irrigação, ou seja, seguir a frequência de irrigação, uma vez que o sistema radicular é pouco profundo e frequências mais altas são mais adequadas. No caso de fruteiras, como bananeira, mamoeiro, por exemplo, culturas de alta densidade e de alta demanda nutricional, recomenda-se fertirrigar de uma a duas vezes por semana (a cada três ou sete dias), embora haja trabalhos que não demonstram diferenças entre tratamentos para frequências

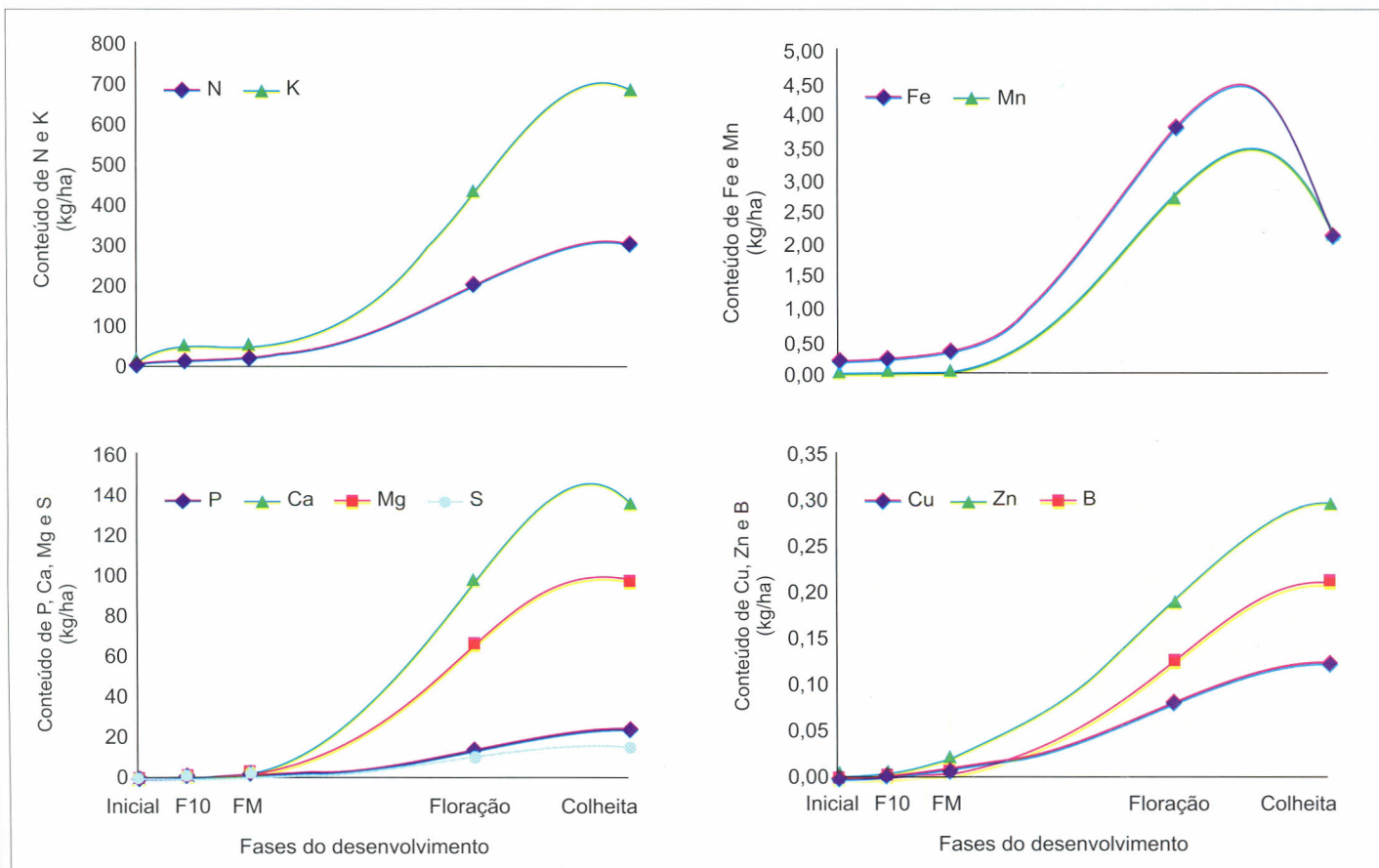


Gráfico 1 - Curva de absorção de nutrientes pela bananeira

FONTE: Soto Ballesteros (2000).

de até 15 dias, como no caso da bananeira (COSTA; SILVA; SOUTO, 2001). Já para fruteiras arbóreas, de menor demanda nutricional, como citros e manga, a fertirrigação pode ser feita a cada 7 ou 15 dias, principalmente no caso de irrigação por aspersão, miniaspersão e microaspersão. No caso de gotejamento, tendo em vista o menor volume molhado, recomendam-se frequências maiores a fim de manter os nutrientes dentro do volume molhado gerado pelos tempos de irrigação.

Ao conhecer a QTN, a PDF em cada fase da cultura diferenciada pela taxa de absorção, a QNF pela Equação A (Quadro 4), o número de dias de cada fase (PPF) pela curva de absorção, a Ff, pode-se determinar o número de eventos de fertirrigação (NF) pela Equação B e a quantidade de fertilizante a ser aplicada a cada evento de fertirrigação (QAF), pela Equação C (Quadro 4). Em seguida transforma-se QAF para a fonte correspondente, por exemplo, no caso de K_2O , para cloreto de potássio, dividindo por 0,52 dado que o cloreto de potássio possui 52% de K_2O . Deve-se determinar o volume de água referente à concentração desejada da água de irrigação durante a aplicação do fertilizante. O conhecimento da concentração da solução a ser injetada no sistema de irrigação e da concentração da água de irrigação, isto é, aquela que sai dos emissores, é fundamental na fertirrigação. A concentração excessiva da água de irrigação pode causar elevação temporária da salinidade do solo e da sua tensão osmótica, podendo afetar o desenvolvimento das plantas. As concentrações das soluções em condições de campo não têm seguido critérios técnicos, que, muitas vezes, se limitam a considerar apenas a solubilidade dos fertilizantes. As recomendações das concentrações adequadas nas condições do Brasil ainda não são conclusivas, mas valores de até 5,0 g/L da água de irrigação não têm causado elevações da condutividade elétrica em Latossolo Amarelo a níveis superiores a 1,2 dS/m (ANDRADE NETO et al., 2009).

QUADRO 4 - Equações para cálculo da solução de fertilizantes para injeção no sistema de irrigação

Ordem	Equação	Especificação dos parâmetros
A	$QFN = QTN \frac{PDF}{100}$	QFN = quantidade necessária numa fase (kg); QNT = quantidade total do nutriente (kg); PDF = porcentagem da quantidade total do ciclo na fase considerada (%).
B	$NF = \frac{PPF}{F_f}$	NF = número de eventos de fertirrigação em uma fase; PPF = número de dias de uma fase; F_f = frequência de fertirrigação (dias).
C	$QAF = \frac{QFN}{NF}$	QAF = massa do fertilizante a ser aplicada em kg.
D	$V_{\text{água}} = \frac{QAF_c \cdot q_b \cdot 1000}{q_i \cdot c_i \cdot 0,001}$	QAF_c = massa do fertilizante, fonte do nutriente (kg); q_b = vazão de injeção por bomba, tanque diferencial ou Venturi (L/h); q_i = vazão do sistema de irrigação (L/h); $V_{\text{água}}$ = volume de água da solução fertilizante ou injetora (L); C_i = concentração da água na saída dos emissores (mg/L).

Tendo a concentração da água de irrigação (C_i) em mg/L, a QAF em quilo, a ser colocada no tanque de solução fertilizante ou injetora, a vazão de injeção da bomba ou tanque diferencial ou Venturi, q_b , em L/h, a vazão do sistema de irrigação (q_i) em L/h, obtém-se o volume de água ($V_{\text{água}}$) em L pela Equação D (Quadro 4). Conhecendo-se o volume do tanque da solução de injeção disponível, pode-se planejar a fertirrigação em termos de tempo e quantos tanques de injeção serão necessários. O $V_{\text{água}}$ calculado pode demandar um tempo de fertirrigação superior ao regular de irrigação, e exigir um fracionamento da fertirrigação ou atuar no valor da concentração da água de irrigação.

MONITORAMENTO DA FERTIRRIGAÇÃO

Por ser a fertirrigação uma técnica que permite alterações rápidas e precisas na quantidade de nutrientes aplicados, torna-se importante um monitoramento para que se promova, ainda durante o ciclo da cultura, o manejo necessário no que se refere às quantidades aplicadas e à época ideal de aplicação. O monitoramento da solução do solo é importante, a fim de

verificar se há elevação da condutividade elétrica (CE) a níveis indesejáveis às plantas e/ou alterações no pH da solução do solo. O acompanhamento da concentração da solução nas saídas dos emissores, por meio da coleta de amostras e análise, é uma ferramenta de importância no sucesso da fertirrigação e, conseqüentemente, na redução dos impactos ambientais.

Além disso, um correto monitoramento evita as flutuações da quantidade de sais na solução do solo, além de manter em níveis adequados a CE e o pH do solo. A falta de monitoramento na fertirrigação no geral é resultado da falta de informação, principalmente sobre dosagens, tipo de fertilizantes, modo e época de aplicação. Isso reflete na salinização do solo, na contaminação de fontes de água e na degradação ambiental.

A fertirrigação é uma técnica que pode provocar impactos de ordens física e química no solo. Os problemas de ordem química são mais comumente encontrados. A salinização temporária e as alterações no pH são mais observadas nesse sentido. No caso da salinidade, quando ocorrer, poderá ser corrigida com lavagem do perfil pelo uso da irrigação ou pelas chuvas. É necessário manter uma concentração da

solução de injeção, a qual permita uma concentração na água de irrigação na saída dos emissores e não aumente a concentração salina ou a CE do solo a níveis indesejáveis.

É importante salientar que as fontes amoniacais (ureia) podem reduzir o pH do solo, como observado por Silva, Borges e Malburg (1999). Em contrapartida, Carvalho, Coelho e Costa (2009) observaram que a ureia até a concentração de 7,2 g/L não promoveu redução do pH da solução do solo (Gráfico 2).

Andrade Neto et al. (2008) observaram que concentrações acima de 4,0 g/L de nitrato de cálcio e ureia podem resultar em níveis críticos de CE da solução do solo (Gráfico 3).

O monitoramento da fertirrigação é realizado por meio da utilização de extratores

de solução (Fig. 7). O extrator de solução é composto de uma cápsula porosa, um tubo de PVC rígido, borracha de vedação na parte superior e uma tampa. A instalação do extrator inicia-se geralmente uma a duas horas após a fertirrigação. Antes de ser instalado é lavado com água destilada em laboratório. Já no campo, por meio de um trado adequado, consegue-se a profundidade desejada para instalar o extrator. Após a instalação, é realizada a sucção com bomba manual. Geralmente, usa-se um vácuo com tensão de 70 kPa, podendo-se utilizar uma seringa para promover a sucção. Realizada essa etapa, o extrator pode permanecer no campo por até 24 h. Em seguida, retira-se a solução coletada. Recomenda-se pelo menos uma bateria de extratores de solução, instalados em duas profundidades diferentes. Uma que represente a região de maior

atividade do sistema radicular da planta, o que poderia corresponder à metade da profundidade efetiva do sistema radicular, e a outra na profundidade limite da zona radicular efetiva, normalmente, entre 0,60 e 0,70 m. Os extratores devem ser instalados cerca de 0,10 m do gotejador, entre o gotejador e a planta. Na aspersão e na microaspersão, entre 0,15 e 0,50 m da planta, dependendo da cultura. A solução retirada do solo poderá ser avaliada por condutivímetro de bolso ou de bancada e por kits de determinação rápida de íons ou mesmo ser levada ao laboratório para análise.

Outra opção de monitoramento consiste na amostragem de solo para processamento da pasta do extrato de saturação em laboratório e extração da solução, sendo um processo que requer maior tempo. A solução será processada da mesma forma que a solução do solo já citada.

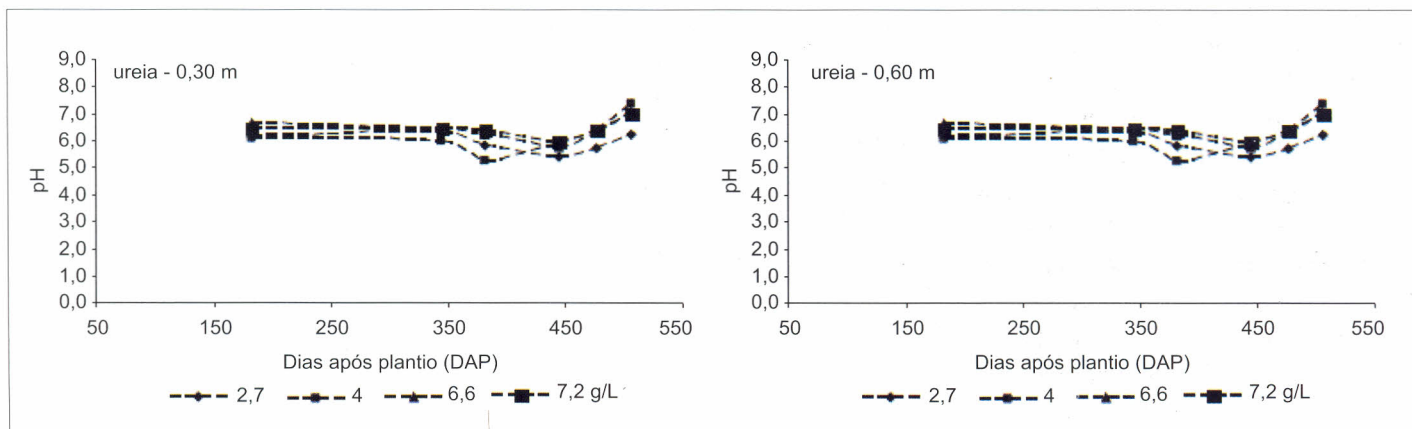


Gráfico 2 - pH do solo sob diferentes concentrações de ureia

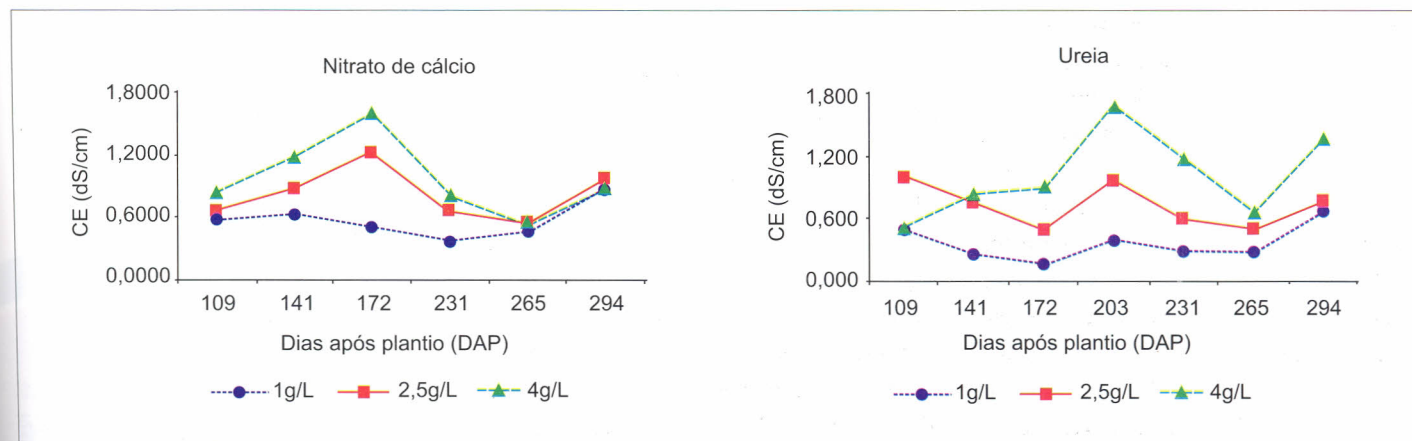


Gráfico 3 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo sob diferentes concentrações de ureia na fertirrigação

Uma das metas do monitoramento da fertirrigação é conseguir avaliar os íons (nutrientes) do solo, a partir de procedimentos de fácil acesso ao usuário. A coleta de amostras de solo para avaliação química em laboratório demanda tempo e não traduz a situação de campo em tempo real. Pesquisas têm sido desenvolvidas e mostram ser possível a estimativa de determinados íons, a partir da CE com o uso de modelos matemáticos (HEIMOVAARA et al., 1995; MUÑOZ-CARPENA et al., 2001). Essas pesquisas têm estabelecido relações entre CE da solução do solo e

diferentes nutrientes, tais como: nitrato, K, dentre outros. Por necessitarem de amostras de solução do solo que são facilmente coletadas por meio de extratores de solução, torna-se um procedimento com resultados mais rápidos, cruciais na tomada de decisão do manejo da fertirrigação.

Andrade Neto et al. (2009) mostram que é possível estimar íons de K na solução do solo como função da CE por meio de um modelo matemático potencial ($CE_w = \alpha K \mu$), com resultados satisfatórios da estimativa de K pelas leituras da CE da solução do solo (Gráfico 4).



Figura 7 - Extratores de solução no campo

Fotos: Eugênio Ferreira Coelho

REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, T. M. de. et al. Validação em campo de um modelo matemático de estimativa de potássio na solução do solo como função da condutividade elétrica aparente e umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 38., 2009, Juazeiro. [Anais]... Planejamento da bacia hidrográfica e o desenvolvimento da agricultura. Petrolina: UNIVASF, 2009. 1 CD-ROM.

_____. et al. Salinidade do solo sob fertirrigação com três concentrações de uréia em dois sistemas de irrigação localizada. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM - CONIRD, 18., 2008, São Mateus. Anais... O equilíbrio do fluxo hídrico para uma agricultura irrigada sustentável. São Mateus: ABID, 2008. 1 CD-ROM.

BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. *Advances in Agronomy*, v. 65, p.1-75, 1999.

BRESLER, E. Trickle drip-irrigation: principles and application to soil-water management. *Advances in Agronomy*, New York, v. 29, p. 343-393, 1977.

BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. *Fertigation*. San Luis Obispo: Irrigation Training Research Center, 1995. 295p.

CARVALHO, G. C.; COELHO, E. F.; COSTA, F. S. pH do solo no primeiro ciclo da banana da terra fertirrigada com diferentes concentrações de uréia e nitrato de potássio na água de irrigação. In: CONGRESSO BRA-

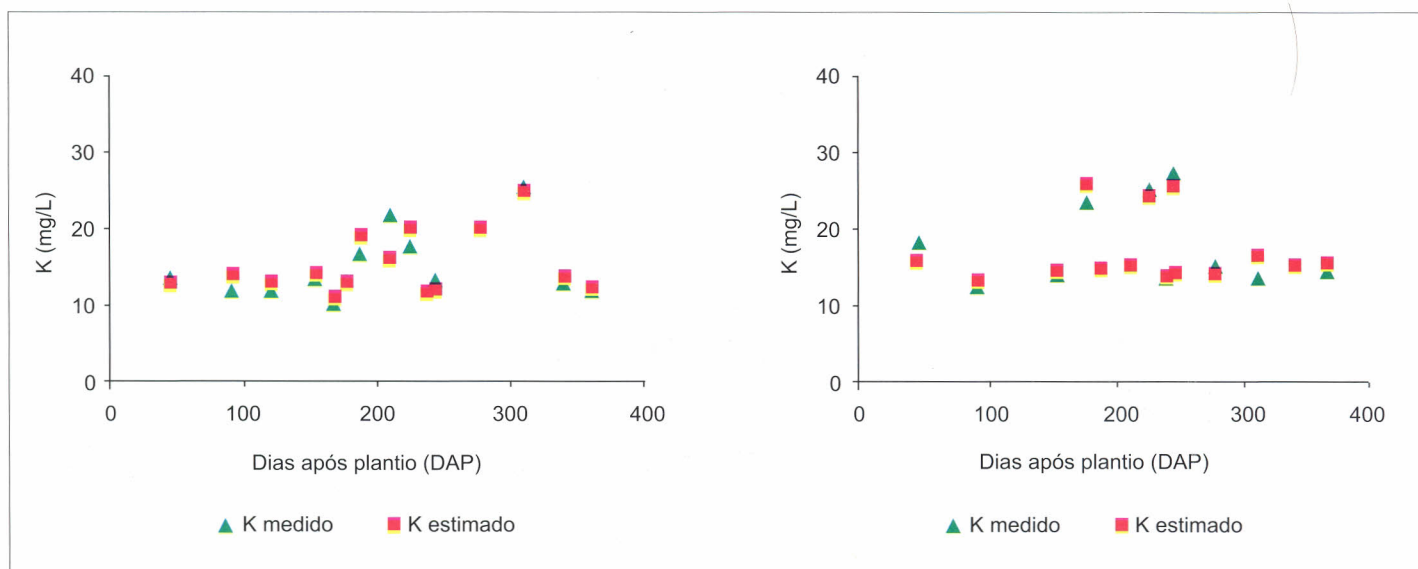


Gráfico 4 - Correlação entre os valores de K+ medidos na solução do solo e estimados pelo modelo potencial em função da condutividade elétrica - da solução do solo



Linha **Ferti** Nutrição Líquida e Certa

Sulfato de Potássio **MAP** Fertirrigação

Nitrato de Cálcio

Nitrato de Potássio **KCl** Fertirrigação

Sulfato de Magnésio

MKP
Fosfato Mono Potássico

Salitre do Chile

Nitrato de Magnésio

FERTILIZANTES



HERINGER

Anápolis GO Fone (62) 4015 2200	Bebedouro SP Fone (17) 3344 1550	Camaçari BA Fone (71) 3183 2200	Catalão GO Fone (64) 3441 5100	Dourados MS Fone (67) 2108 1700	Iguatama MG Fone (37) 3353 9200	Manhuaçu MG Fone (33) 3339 1600
Maringá PR Fone (44) 3221 7800	Ourinhos SP Fone (14) 3302 2550	Paranaguá PR Fone (41) 2152 2200	Paulínia SP Fone (19) 3322 2200	Porto Alegre RS Fone (51) 3406 2200	Rio Verde GO Fone (64) 3613 6400	Rondonópolis MT Fone (66) 2101 2300
Rosário do Catete SE Fone (79) 3274 2800	S. J. do Manhuaçu MG Fone (33) 3377 1158	Três Corações MG Fone (35) 3239 5900	Uberaba MG Fone (34) 3311 9000	Viana ES Fone (27) 2122 2200		

www.heringer.com.br

SILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Resumos...** O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. 1 CD-ROM.

COELHO, A.M. Fertilização. In: COSTA, E.F. da; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimi-gação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1994. p.201-227.

COSTA, E.L. ; SILVA, J.T.A. da ; SOUTO, R.F. Frequência da fertirrigação e profundidade de irrigação no desenvolvimento e produção da bananeira (*Musa* spp.) Prata Anã. In: CIÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO, 2001, Belo Horizonte. **Mostra de trabalhos da FAPEMIG ...** Belo Horizonte: FAPEMIG, 2001.

HAYNES, R.J. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. **Fertilizer Research**, v.6, n.3, p. 235-255, 1985.

HEIMOVAARA, T.J. et al. Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.59, n.3, p.689-698, 1995.

HERNÁNDEZ ABREU, J.M. et al. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1987. 317 p.

MUÑOZ-CARPENA, R. et al. Determinación simultánea mediante TDR del transporte de agua y un soluto salino en el suelo. In: LÓPEZ, J.J.; QUEMADA, M. (Ed.). **Temas de investigación en zona no saturada**. Pamplona: Universidad Pública de Navarra, 2001. p.1-7.

ROLSTON, D.E. et al. **Applying nutrients and other chemicals to trickle irrigated crops**. Berkeley: University of California, 1979. 14p. (University of California. Bulletin, 1893)

SILVA, J. T. A. da ; BORGES, A. L., MALBURG, J. L. Solos, adubação e nutrição da bananeira. **Informe Agropecuário**. Banana: produção, colheita e pós-colheita, Belo Horizonte, v. 20, n. 196, p 21-36, jan./fev. 1999.

SILVA, T. S. M. et al. Distribuição do potássio no perfil do solo em bananeira (*Musa* spp.) fertirrigada por microaspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador.

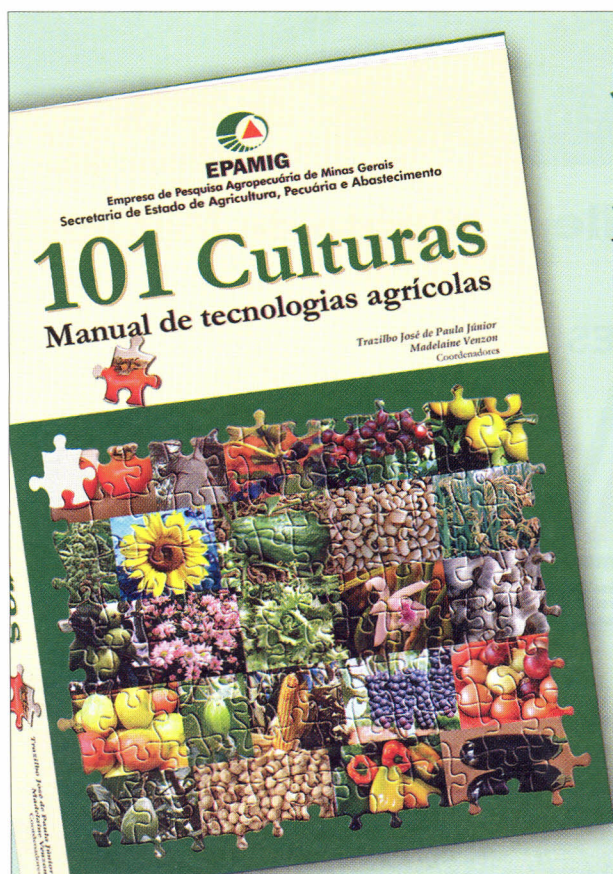
Anais... A engenharia agrícola para o desenvolvimento sustentável: água, energia e meio ambiente. Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1CD-ROM.

SOTO BALLESTERO, M. Bananos: cultivo y comercialización. 2. ed. San José: Imprenta Lil, 2000. 1 CD-ROM.

VIEIRA, R.F.; COSTA, E.L.da; RAMOS, M.M. Escolha e manejo de fertilizantes na fertirrigação da bananeira. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Unimontes, 2001. p. 203-217.

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

VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E.; PENTEADO, S.R. Fertilizantes e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1., 1993, Piracicaba. **Anais...** Fertilizantes fluidos. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p.261-281.



101 Culturas

Manual de tecnologias agrícolas

Reimpressão
2010

Livro de consultas para agrônomos, técnicos agrícolas, estudantes, pesquisadores, professores e agricultores.

Adquira já o seu!

(31) 3489 5002
www.epamig.br
publicacao@epamig.br



EPAMIG

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

