

USO E MANEJO DE FERTILIZANTES EM FERTIRRIGAÇÃO

Roberto Lyra Villas Bôas¹

José Renato Zanini²

Luiza Helena Duenhas³

1. INTRODUÇÃO

A irrigação tem alcançado consideráveis avanços nas últimas décadas, em relação aos métodos de aplicação de água e na evolução dos equipamentos, muitas vezes empregados apenas para distribuição de água. Hoje, no entanto, sabe-se que o sistema de irrigação é um excelente condutor e distribuidor de produtos químicos ou orgânicos. Quando o produto aplicado é fertilizante, a técnica é denominada fertirrigação.

No “estado da arte da nutrição de vegetais” encontra-se que, com fertirrigação, os nutrientes podem ser aplicados às plantas em doses e tempos apropriados para o estágio específico de crescimento das mesmas. Com a aplicação convencional na fase de estabelecimento e, posteriormente, com duas ou mais coberturas, as plantas recebem uma grande dose de fertilizante que será necessária durante um determinado estágio, e, considerando um curto período de tempo, a aplicação poderá ser excessiva, ao passo que entre uma aplicação e outra pode haver falta de nutrientes.

Com a fertirrigação as plantas podem receber pequenas quantidades de fertilizantes no início do desenvolvimento, e essa dose pode ser aumentada com o avançar do ciclo da planta e com o aparecimento dos frutos.

Neste texto será abordada a fertirrigação sob o ponto de vista dos fertilizantes, suas reações com o solo e com a nutrição de plantas.

2. CONDIÇÕES BÁSICAS PARA FERTIRRIGAÇÃO

Uma das condições básicas para o adequado fornecimento de fertilizantes via água de irrigação é que o sistema esteja adequadamente dimensionado e que a água seja aplicada de forma homogênea em toda a superfície irrigada. A desuniformidade no fornecimento de água resulta em variações na quantidade aplicada de fertilizantes, e nunca a aplicação de fertilizante poderá ser mais uniforme que a aplicação de água.

Outro aspecto que deve ser considerado é que determinados sistemas de irrigação são mais eficientes na aplicação de água, como é o caso do gotejamento e microaspersão, o que torna, também, mais eficiente o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. Portanto, quando se trata de fertirrigação, deve-se considerar o sistema de irrigação que está sendo utilizado. Na Tabela 1 apresentam-se algumas diferenças entre sistemas de irrigação que podem afetar a técnica da fertirrigação.

Entre as vantagens do sistema de irrigação por gotejamento na aplicação de fertilizantes, em relação aos outros, pode-se destacar que a solução é aplicada na zona ativa das raízes,

¹FCA – Unesp – *Campus* de Botucatu-SP, CEP: 18.603-970, e-mail: rlvboas@fca.unesp.br

²FCAV – Unesp – *Campus* de Jaboticabal, CEP: 14.884-900, e-mail: jrzanini@fcav.unesp.br

³Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, c.p. 23, CEP: 56.300-000, e-mail: lduenhas@cpatsa.embrapa.br

onde a água está sendo removida; a perda de fertilizante por lixiviação é menor, e a aplicação localizada não favorece a ocorrência de doenças foliares. Entre os cuidados que esse sistema requer podem-se citar: as partículas de alguns fertilizantes sólidos que são encontrados na solução necessitam ser retiradas através de filtros, devido ao diâmetro dos emissores; os sistemas de gotejamento estão mais sujeitos a entupimento ocasionado por microorganismos, algas ou precipitados formados pela ação de alguns fertilizantes com a água de irrigação; soluções ácidas aplicadas ao solo têm maior efeito negativo pelo fato de haver maior concentração em um pequeno volume de solo, o mesmo ocorrendo para soluções salinas; o sistema radicular pode tornar-se mais restrito.

Tabela 1. Comparações relativas entre sistemas de irrigação com relação à aplicação de água e fertilizantes.

Características	Aplicação localizada	Aspersão	Sulco
Uso da água	eficiência alta	eficiência média	eficiência baixa
Frequência de aplicação	maior	menor	menor
Uniformidade de distribuição de água	alta	média	baixa
Distribuição dos adubos	próxima ao sistema radicular	área toda	varia ao longo do sulco
Variações climáticas	menor limitação	maior limitação	maior limitação
Salinidade da água	maior limitação	menor limitação	menor limitação
Impurezas físicas na água	maior limitação	menor limitação	menor limitação
Sistema radicular	restrito	sem restrição	sem restrição

Já os sistemas de irrigação por aspersão apresentam como característica a distribuição da água em toda a superfície, o que é desejável em muitos casos de aplicação dos produtos às plantas ou ao solo, porém a distribuição pode ser muito afetada pelo vento. Uma vantagem da aspersão em relação à irrigação por gotejamento diz respeito à velocidade da água nas tubulações, diminuindo a sedimentação das partículas sólidas conduzidas na água, e com isso há menores riscos de obstrução das tubulações e dos emissores. Entre as limitações do sistema podem-se citar: maior consumo de água, maiores problemas com doenças foliares e menor aproveitamento da água aplicada, principalmente na fase inicial das culturas, quando as raízes não estão plenamente desenvolvidas.

A irrigação por sulco é muito dependente do sistema implantado para obter uniformidade na distribuição de água e fertilizantes. O comprimento dos sulcos deve ser variável com o tipo de solo. Em geral, a distribuição de água por esse método é irregular, o que pode resultar em uma distribuição irregular de fertilizantes.

3. SOLUBILIDADE DOS FERTILIZANTES

Para alcançar êxito na fertirrigação devem-se utilizar fontes de alta solubilidade para que, na solução aplicada, a concentração de nutrientes seja, de fato, a calculada. Outro aspecto importante da solubilidade é que alguns fertilizantes que não apresentam dissolução completa podem causar entupimento nos emissores, principalmente dos gotejadores.

Na prática, a solução aplicada pela fertirrigação é misturada em tanques de capacidade variada, e, posteriormente, essa solução é injetada no ramal principal através de vários equipamentos, onde essa solução é diluída. Por isso, a concentração no reservatório chega a ser 200 vezes a da solução que sai nos emissores. No preparo da solução deve-se observar a solubilidade de cada fertilizante, a fim de que todo fertilizante permaneça na solução.

Na Tabela 2 são apresentadas as solubilidades de vários fertilizantes à temperatura de 20°C. Quando a temperatura da água estiver abaixo da apresentada na tabela, menor quantidade de fertilizante deve ser solubilizada. Por isso, principalmente no inverno, é necessário avaliar a temperatura da água antes de proceder à solubilização dos fertilizantes, pois freqüentemente se opera à temperatura da água inferior a 20°C. A própria mistura de fertilizantes pode promover o abaixamento da temperatura da água, devido ao fato das reações de dissolução absorverem calor. É o que ocorre quando fertilizantes nitrogenados são solubilizados.

Assim como a temperatura, a pureza do fertilizante pode interferir na sua solubilidade. Como a solubilidade normalmente é determinada a partir de produtos puros (p.a.), deve-se considerar que os valores tabelados são máximos e podem ser aplicados apenas a fertilizantes com alto grau de pureza. Para fertilizantes comerciais o limite de solubilidade normalmente é mais baixo.

Deve-se, também, estar atento a fertilizantes que apresentem: a) condicionadores (usados para prevenir a quebra dos grânulos); b) substâncias como óleo ou parafina, que revestem os fertilizantes que têm problemas de higroscopicidade; c) argilas presentes nos adubos fluidos para manter o potássio em suspensão; d) outras impurezas, como óxido de ferro, presentes no cloreto de potássio vermelho. Fertilizantes com essas características devem ser evitados em fertirrigação.

Em relação a características físicas dos fertilizantes sólidos para uso em fertirrigação, deve-se dar preferência àqueles que se apresentam na forma de cristais, que, em função do tamanho de grânulo reduzido, solubilizam-se mais facilmente em relação aos granulados.

Como regra geral, a solubilização deve ser feita de forma lenta e sob agitação, evitando que os fertilizantes precipitem no fundo do reservatório. Alguns cuidados devem ser tomados no momento da mistura:

- misturar o adubo a 50 - 75% de água no tanque;
- misturar primeiro os fertilizantes fluidos depois os sólidos;
- sempre adicionar ácido em água;
- nunca misturar ácido ou fertilizante ácido com cloro;
- nunca misturar fertilizantes básicos (aqua-amônia ou amônia anidra) com ácido ou soluções ácidas;
- não misturar fertilizantes contendo sulfato com outro contendo cálcio;
- não misturar fertilizante contendo fósforo com outro contendo cálcio sem antes testar a mistura;

- águas ricas em cálcio e magnésio podem formar compostos insolúveis com fósforo e sulfato.

Sempre que forem feitas misturas de fertilizantes diferentes dos utilizados convencionalmente, deve-se fazer o “teste da jarra”, que consiste em misturar os fertilizantes em uma jarra, na mesma proporção que será utilizada no reservatório, esperando por duas horas após a mistura. Se não houver a formação de precipitado, a mistura poderá ser feita sem problemas.

Tabela 2. Solubilidade de alguns fertilizantes.

FERTILIZANTE	SOLUBILIDADE ¹
NITROGENADOS (N)	
Nitrato de Amônio	118
Nitrato de Cálcio	102
Sulfato de Amônio	71
Uréia	78
Nitrato de Sódio	73
Soluções nitrogenadas	ALTA
Uran	ALTA
FOSFATADOS (P)	
Superfosfato simples	2
Superfosfato triplo	4
Ácido fosfórico	45,7
POTÁSSICOS (K)	
Cloreto de potássio	34
Sulfato de potássio	11
N e P	
Map	23
Map purificado	37
Dap	40
N e K	
Nitrato de potássio	32
CONTENDO Ca e Mg	
Cloreto de cálcio penta-hidratado	67
Sulfato de magnésio	71
Gesso	0,24
CONTENDO MICRONUTRIENTES	
Bórax	5
Sulfato de cobre	22
Sulfato de cobre penta-hidratado	24
Sulfato de ferro	24
Sulfato ferroso	33
Sulfato de manganês	105
Sulfato de zinco	75
Quelatos (Fe, Cu, Mn e Zn) EDTA, DTPA,	ALTA

¹ Partes solubilizadas em 100 partes de água a 20 °C.

4. SALINIDADE E POTENCIAL SALINO DOS FERTILIZANTES

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

A intemperização das rochas através do tempo dá origem aos sais solúveis no solo. Em regiões chuvosas, a maioria dos sais é lixiviada, enquanto em regiões áridas os níveis de sais são 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 a água utilizada seja analisada.

4.1. Efeito da salinidade nas plantas

À medida que os sais se acumulam no solo, as raízes apresentam maior dificuldade de absorver água, requerendo maior energia para absorvê-la, energia esta desviada de processos metabólicos essenciais. Por exemplo, uma condutividade elétrica de 3 mS/cm representa um potencial de retenção de água de 0,1 MPa.

O sintoma do efeito salino nas plantas é caracterizado, inicialmente, por murchamento foliar, nos períodos mais quentes do dia, mesmo em condição de solo úmido. Posteriormente, observam-se necroses foliares, e, numa condição mais drástica, tem-se a morte da planta. Antes, porém, dos sintomas se tornarem visíveis, diminuição no desenvolvimento e na produtividade pode ser notada.

Outro efeito negativo da salinidade do solo é o desequilíbrio nutricional nas plantas devido à alta concentração de ânions e cátions no solo, como é o caso do sódio. Podem, também, ser observadas mudanças no pH devido à presença de carbonatos. A alta concentração de sódio causa dispersão das argilas, que acabam obstruindo os poros e, como consequência, promovem diminuição na aeração e na velocidade de infiltração de água no solo.

4.2. Determinação do potencial salino do solo

Quanto maior a concentração de sais na solução do solo, maior é a corrente elétrica que pode ser transmitida através dela. O condutímetro, aparelho que mede a resistência do meio à passagem de uma corrente elétrica, baseia-se nesse princípio. A água pura possui baixa capacidade de conduzir corrente elétrica e apresenta maior resistência à passagem desta em relação a uma solução salina.

A condutividade elétrica (CE) deve ser determinada em um extrato retirado quando o solo está saturado em água (extrato de saturação). A determinação da CE, diretamente no solo ou em substratos, obtida em extratos com diluição maiores (relação solo: água de 1:1 ou 1:1,5) não pode ser usada como parâmetro para avaliar o grau de salinização, a não ser em casos particulares, em que previamente se tenham obtido valores de correlação entre o CE determinado desse modo e o CE do extrato de saturação.

Através dos extratores de placa porosa obtém-se a solução do solo, fazendo-se determinações da CE, que se correlacionam com o grau de tensão da água no solo. O mais

adequado é obter os extratos de solo em condições de capacidade de campo, que são os valores que mais se relacionam com os obtidos em laboratório.

Os condutímetro mais precisos apresentam um ajuste de temperatura, que deve ser corrigida, antes de se fazer a leitura, uma vez que a resistência à passagem da corrente elétrica é também variável com a temperatura.

A unidade adotada pelo Sistema Internacional para expressar condutividade elétrica (CE) é o Siemens. Porém, muitas tabelas ainda utilizam unidades em mmho/cm. Na Tabela 3 são apresentadas as unidades e as conversões entre unidades.

Tabela 3. Unidades usadas para expressar o efeito da salinidade na qualidade da água.

Unidade de condutividade elétrica (CE)	Unidade	Fator de conversão
mho		
mho/cm a 25°C	mho/cm	
milimho/cm	mmho/cm	mmho = 10 ⁻³ mho
micromho/cm	μmho/cm	μmho = 10 ⁻⁶ mho
Siemens		
milisiemens/cm	mS/cm	mS = mmho
microsiemens/cm	μS/cm	μS = 10 ⁻³ mS
decisiemens/m	dS/m	dS/m = mS/cm
Total de sólidos solúveis		
Partes por milhão	ppm	ppm = μS/cm x 0,64
Miligrama por litro	mg/L	mg/L = ppm
Pressão osmótica	atm	PO = 0,36 x CE (dS/m)

Fonte: LANDIS et al. (1989).

4.3. Interpretação do potencial salino do solo e efeito na produtividade

Uma interpretação geral sobre a resposta das plantas aos diferentes níveis de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é dada por Landon (1984), citado por PADILHA (1997) (Tabela 4).

Tabela 4. Resposta das plantas a diferentes níveis de condutividade elétrica.

CE a 25 °C (dS/m)	Resposta das plantas
0 - 2,0	Os efeitos da salinidade nas plantas são imperceptíveis
2,0 - 4,0	A produtividade das plantas muito sensíveis à salinidade poderá ser reduzida
4,0 - 8,0	A produtividade das plantas sensíveis à salinidade é reduzida significativamente
8,0 - 16,0	Somente plantas tolerantes à salinidade podem produzir satisfatoriamente
> 16,0	Poucas plantas tolerantes à salinidade produzem satisfatoriamente

Na Tabela 5 são apresentados os limites de salinidade no extrato de saturação para várias plantas hortícolas e uma separação dessas plantas em relação a sensibilidade à salinidade.

A aplicação de água via aspersão limita a concentração de sais como sódio, cloro, boro e flúor na água, devido às injúrias que podem causar às folhas das plantas.

A tolerância de folhas e raízes à salinidade da água de irrigação tem sido estudada para algumas culturas. O limiar de tolerância para água de irrigação salina é mais alto para o sistema radicular do que para as folhas de curcubitáceas, tomate e pimentão; no entanto, para morango as raízes foram mais suscetíveis às condições de salinidade.

Plantas mais sensíveis ao efeito salino são aquelas que apresentam potencial osmótico das raízes menos negativo em relação à plantas mais resistentes. Esta sensibilidade é variável entre espécies, e mesmo para uma mesma espécie pode ser diferente entre variedades e também entre clones, como apresentado nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 5. Tolerância relativa de algumas culturas hortícolas à salinidade do solo (LORENZ & MAYNARD, 1988).

Cultura	Limite máximo da salinidade do solo sem registro de perdas de produtividade (dS/m)*	Diminuição da produtividade acima do limite máximo da salinidade (% por dS/m)
<i>Sensíveis</i>		
Cebola	1,2	16
Cenoura	1,0	14
Feijão	1,0	19
Morango	1,0	33
<i>Moderadamente sensíveis</i>		
Aipo	1,8	6
Alface	1,3	13
Batata	1,7	12
Batata-doce	1,5	11
Brócolos	2,8	9
Couve	1,8	10
Espinafre	2,0	8
Fava	1,6	10
Milho-doce	1,7	12
Nabo	0,9	9
Pepino	2,5	13
Pimentão	1,5	14
Rabanete	1,2	13
Tomate	2,5	10
<i>Moderadamente tolerantes</i>		
Abobrinha	4,7	9
Beterraba	4,0	9

*deciesiemen por metro (dSm⁻¹) = 1 mmho/cm \cong 640 mg de sal/L.

Tabela 6. Efeito de três níveis de salinidade do solo (dS m^{-1}) na área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de cultivares de melão em estufa.

Cultivar	Área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) para 3 níveis de salinidade (dS m^{-1})		
	2,5	5,0	7,5
Delada	22,6	14,8	11,6
Gallicum	24,7	17,1	13,9
Galor	26,9	19,3	15,0
Melina	35,6	28,0	21,3
Regal	27,1	19,3	15,0
Revigal	27,6	18,8	15,7

Fonte: ROSA (1997).

Tabela 7. Produtividade, peso de frutos e número de frutos por planta em clones de pepino (*Solanum muricatum*) sob dois níveis de salinidade (3 e 8 dSm^{-1}).

Clone	Produtividade (g/planta)		Peso de frutos (g)		Nº de frutos	
	3	8	3	8	3	8
Condutividade (dS m^{-1})						
0 – 8	2.459	1.729	264	207	9,4	8,4
9 – 2	4.074	2.431	322	206	13,0	12,0
UPV – 107	5.371	4.140	407	293	13,4	14,4
6 – 10	2.280	1.545	277	215	8,4	7,3
9 – 1	1.722	1.219	189	142	9,4	9,6
UPV – 641	3.814	3.315	386	295	10,0	11,3

Fonte: ROSA (1997).

Além dos sais como um todo, outros elementos podem ser considerados limitantes para algumas espécies, em função da sua concentração na água de irrigação, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8. Tolerância relativa de algumas espécies hortícolas aos teores de boro na água de irrigação.

		Boro (ppm)		
10 – 15	4 – 6	2 – 4	1 – 2	0,5 – 1,0
Aspargo	Beterraba	Alcachofra	Couve – brócolos	Feijão
	Salsa	Couve-repolho	Cenoura	Alho
	Tomate	Couve-flor	Pepino	Cebola
		Aipo	Ervilha	
		Milho-doce	Pimentão	
		Alface	Batata	
		Melão	Rabanete	
		Nabo		

Fonte: ROSA (1997).

4.4. Condições em que a salinidade pode ser importante

Existem condições em que o solo apresenta naturalmente um teor elevado de sais ou que a água de irrigação apresenta alto potencial salino. Nesses casos, existem manejos específicos que são restritos às condições áridas. Porém o problema de salinização de solos tem ocorrido com certa frequência em condições de cultivo protegido. Nesse caso específico, o uso excessivo de fertilizante, aplicado via fertirrigação (principalmente *gotejamento*), *tem sido a principal causa do problema. No cultivo protegido, o excesso de sal, ao invés de ser lixiviado para camadas mais profundas, acaba se concentrando na superfície do solo.* Aliado a esse fato, o fertilizante aplicado via gotejamento concentra-se numa faixa restrita ao bulbo molhado. Portanto, o acompanhamento da salinidade do solo ao longo do cultivo é importante e poderá indicar a necessidade de um manejo mais adequado.

Nesse sentido, maior cuidado deve ser tomado quando, após uma cultura moderadamente tolerante à salinidade (tomate), for plantada outra moderadamente sensível (pimentão).

Em casos do nível de salinidade nos solos, sob túneis plásticos, ser elevado a ponto de comprometer a produtividade do cultivo consecutivo, deve-se proceder a uma irrigação para promover lixiviação dos sais em excesso. Esse método alternativo deve ser acompanhado de outras práticas como uso de adubo orgânico ou adubo verde, que diminuem o efeito negativo da salinidade. No entanto, o melhor controle é a prevenção do problema, devendo-se fazer o acompanhamento do nível de fertilidade do solo por meio de uma análise química pelo menos a cada cultivo. Com isso, além de evitar a salinidade, estará se economizando fertilizante pela diminuição da quantidade a ser aplicada.

Quando a água utilizada na irrigação é proveniente de rios, e em função da concentração de sais nessas águas variar com o índice pluviométrico, a avaliação da CE ao longo do ano torna-se importante. Essa variação é menor em água proveniente de tanques ou poços.

4.5. Potencial salino dos fertilizantes

Alguns problemas de salinidade são naturalmente criados pelo manejo inadequado de fertilizantes que inclui a quantidade aplicada e a escolha dos fertilizantes em relação às suas características de salinidade. Na Tabela 9 são apresentados os índices salinos dos fertilizantes de uso mais comum na agricultura. O valor do índice salino é dado de forma relativa, tendo-se atribuído o índice 100 ao fertilizante nitrato de sódio (NaNO_3), e os demais fertilizantes são comparados em relação a ele. No entanto, os fertilizantes apresentam concentrações diferentes de nutrientes, e mais importante que o índice salino do adubo (índice global) é considerar o índice salino por unidade de nutriente (índice parcial). Por exemplo, o cloreto de potássio (60% K_2O) apresenta índice parcial de 1,94 por unidade de K_2O , enquanto para o nitrato de potássio esse índice é de 1,59 e para o sulfato de potássio o valor é de 0,85.

Tabela 9. Índice de salinidade de alguns adubos (LORENZ & MAYNARD, 1988).

Adubos	Índice global	Índice parcial
<i>nitrogenados</i>		
Nitrato de amônio (35,0%)	104,7	2,99
Nitrato de amônio (26,0%)*	79,0	3,04
Nitrato de amônio (20,5%)*	63,0	3,07
Sulfato de amônio (21,2%)	69,0	3,25
Nitrato de cálcio (11,9)	52,5	4,41
Cianamida cálcica (21,0%)	31,0	1,48
Nitrato de sódio (13,8%)	73,6	5,34
Nitrato de sódio (16,5%)	100,0	6,06
Fosfato monoamônico (12,2%)	29,9	2,45
Fosfato diamônico (21,2%)	34,3	1,61
Uréia (46,6%)	75,4	1,62
<i>fosfatados</i>		
Fosfato monoamônico (61,7%)	29,9	0,49
Fosfato diamônico (53,8%)	34,3	0,64
Superfosfato simples (16,0%)	7,8	0,49
Superfosfato simples (18,0%)	7,8	0,43
Superfosfato simples (20,0%)	7,8	0,39
Superfosfato (45,0%)	10,1	0,22
Superfosfato (48,0%)	10,1	0,21
<i>potássicos</i>		
Cloreto de potássio (50,0%)	109,4	2,19
Cloreto de potássio (60,0%)	116,3	1,94
Nitrato de potássio (44,0%)	73,6	1,58
Sulfato de potássio (54,0%)	46,1	0,85
Sulfato de potássio + Mg (21,9%)	43,2	1,97
<i>Outros</i>		
Carbonato de cálcio (56,6%)	4,7	0,083
Calcário dolomítico (19,0%)	0,8	0,042
Gesso (32,6%)	8,1	0,247

* Diluição calcária de nitrato de amônio.

Na Tabela 10 são apresentadas as CE das soluções contendo 1 grama de vários fertilizantes simples e também algumas misturas de fertilizantes comerciais. A uréia apresenta o valor mais baixo de CE, uma vez que é um composto orgânico e em água sofre apenas hidratação, necessitando de uma enzima, a urease, para sua hidrólise.

O potencial salino é tanto maior quanto mais seco estiver o solo, e uma das formas de minimizar o problema é manter o mesmo o maior tempo possível úmido. Por isso, em casos em que a salinidade pode ser considerada problema, deve-se adotar irrigação com menores volumes de água por aplicação, no entanto com irrigações mais frequentes.

Tabela 10. Salinidade de alguns produtos usados em fertirrigação.

Produto	Concentração (g/L)	Condutividade (dS/m)
Nitrato de amônio	1	2,80
Uréia	1	0,07
Sulfato de amônio	1	2,10
Ácido fosfórico	1	1,70
Nitrato de potássio	1	1,30
Sulfato de potássio	1	1,40
Kristalon ⁽¹⁾ 13-40-13	1	1,0
Kristalon 19-06-20	1	1,4
Kristalon 15-05-30	1	1,3
Kristalon 18-08-18	1	1,3
Kristalon 03-11-38	1	1,3
Kristalon 06-12-36	1	1,3
Kristalon 12-12-36	1	1,2
Kristalon 20-05-10	1	1,5
Plant-Prod ⁽²⁾ 15-00-15	1	1,3
Plant-Prod 10-52-10	1	0,75
Plant-Prod 08-20-30	1,25	1,25
Plant-Prod 11-41-08	0,91	0,9
Plant-Prod 12-00-44	0,83	1,1
Plant-Prod 15-15-30	1	1,1
Plant-Prod 15-30-15	1	0,95
Plant-Prod 20-05-30	1	0,90
Plant-Prod 20-10-20	1	1,36
Ultrasol ⁽³⁾ 15-30-15	1	1,06
Ultrasol 18-06-18	1	1,34
Ultrasol 25-10-25	1	1,33
Ultrasol 18-18-18	1	1,18
Ultrasol 13-6-40	1	1,25

⁽¹⁾ Dados obtidos nos folhetos de divulgação da empresa HYDRO; CE determinada a 25 °C;

⁽²⁾ Dados obtidos nos folhetos de divulgação da empresa PLANT-PROD Fertilizer Guide for Horticulture & Agriculture, não constando a temperatura em que foi determinada a CE;

⁽³⁾ Dados obtidos nos folhetos de divulgação da empresa SQM; CE determinada a 25 °C.

5. ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DOS FERTILIZANTES

As comparações agronômicas de vários fertilizantes podem indicar diferenças na sua eficiência. Quando se trata de aplicação via água de irrigação, principalmente nos sistemas de aplicação localizada, o conhecimento da movimentação e reação no solo das diferentes formas químicas é de extrema importância. Além disso, a compatibilidade entre os adubos, e desses com os íons presentes na água de irrigação, é outro fator de suma importância na escolha.

5.1. Fertilizantes nitrogenados

O nitrogênio contido nos fertilizantes pode apresentar-se basicamente em três formas químicas: amoniacal (NH_3 e NH_4^+), nítrica (NO_3^-) e orgânica. Entre as fontes orgânicas a única forma química usada em fertirrigação é a amídica (R-NH_2).

Segundo a forma química do nitrogênio pode-se separar os fertilizantes nitrogenados em:

Nítricos:

Nitrato de cálcio - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

✱ Nitrato de potássio - KNO_3

Salitre potássico - KNO_3 , NaNO_3

Salitre de sódio - NaNO_3

Amoniacais:

Soluções nitrogenadas - NH_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{O}$

DAP - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

MAP - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

Sulfato de amônio - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Nítricos-amoniacais:

Nitrato de amônio - NO_3NH_4

Nitrocálcio - NO_3NH_4 , CaCO_3 , MgCO_3

Amídico:

Uréia - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

Nítrico-amoniacal-amídico:

Solução de URAN - $\text{NO}_3\text{NH}_4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

5.1.1. Efeito no pH

O caráter ácido ou básico dos fertilizantes pode ser devido à própria natureza química dos componentes, capazes de doarem ou receberem prótons, ou ser consequência de reações secundárias, que ocorrem com os produtos de dissociação dos mesmos no solo e com absorção de íons pelas raízes das plantas. Com relação ao pH dois aspectos devem ser considerados. O efeito do pH na água de irrigação e no solo.

Efeito no pH da água de irrigação

A alteração no pH da água de irrigação, em função das fontes de fertilizantes utilizados, é apresentada na Tabela 11 e é dependente da concentração que se encontram nas soluções e suspensões.

Tabela 11. Efeito da mistura fertilizante no pH da água (5 g em 50 mL de água).

Fertilizante (pH)						
Uréia	Sulfato de amônio	Salitre do Chile	Nitrocálcio	DAP	MAP	Nitrato de amônio
8,1	4,8	9,3	7,3	7,4	3,9	5,1

Efeito do pH no solo

Os fertilizantes nitrogenados, em função da sua forma química, apresentam efeitos diferentes no pH do solo. O nitrogênio amoniacal, após ser absorvido pela raiz ou sofrer oxidação biológica, num processo chamado nitrificação, tem como resultado a acidificação do solo. Para manter o equilíbrio elétrico, ao absorver o nitrogênio na forma nítrica, a planta libera hidroxilas e ácidos carbônicos na rizosfera, que promovem alcalinização no solo. A hidrólise da uréia inicialmente alcaliniza o solo, uma vez que nessa reação ocorre a formação de NH_3 e, posteriormente, o acidifica por meio da nitrificação. Em solos levemente ácidos a forma química amônia (NH_3) passa a amônio (NH_4^+), que irá se comportar em relação à reação no solo como um fertilizante amoniacal. A resultante dessas duas reações é ácida. Pode-se, portanto, concluir que as fontes nitrogenadas têm efeito alcalino ou ácido, conforme segue: NO_3^- = efeito alcalino; NH_4^+ = efeito ácido; NO_3NH_4 = efeito ácido; uréia (NH_2) = efeito ácido.

Na Tabela 12 apresentam-se as características de acidez e basicidade de alguns fertilizantes nitrogenados. O sulfato de amônio é o fertilizante com maior efeito ácido, e são necessários, para neutralizar o efeito de 100 kg do mesmo, 110 kg de carbonato de cálcio puro. Nas adubações convencionais, em que os fertilizantes sólidos são empregados, o efeito de acidificação pelo uso de uma fonte que tenha caráter ácido pode ser importante após alguns anos de utilização. No entanto, quando esses fertilizantes são aplicados via irrigação, principalmente no caso de gotejamento, em que o fertilizante encontra-se na zona de molhamento, que é um volume de solo restrito, o efeito de acidificação é intenso e pode promover o abaixamento do pH em um único ciclo da cultura, como pode ser visto na Tabela 13.

Como exemplo, cada aplicação de 12,5 kg de nitrogênio, para um gotejador de 15 cm de raio de molhamento e os demais dados, tem-se:

- área molhada de um gotejador = 0,071 m²;
- 600 plantas/ha, 2 gotejadores/planta;
- área molhada de 1.200 gotejadores = 85,2 m²;
- 12.500 gramas de uréia/85,2 m² = 146,7 g/m².

Considerando-se um hectare e o fertilizante aplicado em área total, daria o equivalente a 1.467 kg de nitrogênio.

Tabela 12. Características de acidez e basicidade de algumas fontes nitrogenadas.

Fertilizante	Índice de acidez/basicidade
Uréia	71
Sulfato de amônio	110
Nitrato de amônio	62
Amônia anidra	147
MAP	60
DAP	88
Nitrocálcio	26
Uran	Ácido
Nitrato de cálcio	-20
Salitre do Chile/potássico	-29
Nitrato de potássio	-115

Tabela 13. Efeito da fertirrigação, com várias fontes de N, sobre o pH no perfil do solo logo abaixo do emissor.

Profundidade (cm)	Testemunha	Ca(NO ₃) ₂ 2 L/h	(NH ₄) ₂ SO ₄ 2 L/h	CO(NH ₂) ₂ 2 L/h	CO(NH ₂) ₂ 4 L/h
0-5	5,8 B	6,3 C	4,8 A	5,0 A	4,9 A
5-10	5,9 B	5,8 B	4,9 A	5,1 A	5,0 A
10-20	5,8 B	5,9 B	5,2 A	5,3 A	5,4 A
20-30	5,7 B	5,7 B	5,6 B	5,3 A	5,6 B
30-40	5,7 B	5,8 B	5,7 AB	5,5 A	5,7 AB
40-50	5,7 A	5,7 A	5,7 A	5,6 A	5,8 A

5.1.2. Amônio

O cátion amônio, aplicado em baixa concentração, irá adsorver-se aos colóides do solo, movendo-se pouco no perfil em relação ao ponto de aplicação. Dependendo da taxa de aplicação, a concentração de cátions pode ser alta, e, neste caso, eles podem saturar os sítios de troca no solo ao longo do perfil e com isso mover-se gradativamente em profundidade.

Normalmente, a maior parte do amônio no solo será transformado biologicamente em nitrato, em 2 a 3 semanas, numa temperatura do solo de 25 a 30 °C. No entanto, 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 O₂, que nessas regiões ocorre em menor concentração em função de ser o local com maior teor de água. Concentrações de amônio próximas a 400 – 800 mg N/kg são suficientes para inibir a nitrificação.

5.1.3. Uréia

A molécula de uréia antes de se hidrolisar no solo não apresenta carga, o que a torna inicialmente móvel. Após a hidrólise e a formação de NH₄⁺ o movimento do N torna-se restrito. A conversão de uréia em amônio é dependente de uma série de fatores. Há resultados em que 50% da uréia foi convertida em NH₄⁺ com 3 horas após a aplicação (60 kg de N/ha) e outros em que toda a uréia foi hidrolisada com 48 horas após a aplicação.

5.1.4. Nitrato

O nitrato move-se para a periferia da frente de molhamento. Embora as plantas absorvam prontamente o NO₃⁻, NH₄⁺ e a uréia, respostas para NO₃⁻ são normalmente mais rápidas porque o nitrato é carregado pela água até a superfície da raiz via fluxo de massa. No caso de excesso de água o nitrato será lixiviado abaixo da zona das raízes.

5.1.5. Perdas de nitrogênio

As fontes de nitrogênio estão sujeitas a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação. Na lixiviação, o nitrato é carregado através da água de irrigação ou de chuva

para regiões mais profundas do solo, longe do acesso das raízes. Dependendo da intensidade da água, o nitrato poderá alcançar o lençol freático, vindo a contaminar os mananciais de água.

O potencial de perdas de N por volatilização é variável, principalmente, com o pH da água e do solo. As fontes mais sensíveis a esse tipo de perda são as amoniacais e a uréia. Na Tabela 14 são apresentadas as perdas de N em função do pH.

Tabela 14. Efeito do pH na volatilização de amônia.

pH do solo/água	Potencial de N volatilizado (%)
7,2	1
8,2	10
9,2	50
10,2	90
11,2	99

Com condições desfavoráveis, um outro potencial de perdas do $N-NO_3^-$ é a desnitrificação. Quando adequada quantidade de carbono solúvel está disponível e o conteúdo de água no solo aproxima-se da saturação, o oxigênio será esgotado do perfil do solo e o nitrato será reduzido a dinitrogênio ou óxido nítrico, difundindo-se para a atmosfera. Isso ocorre devido à formação de microssítios de anaerobiose, que podem se desenvolver nos solos saturados. É importante evitar a saturação do solo, o qual no geral, não apresenta problema, exceto diretamente abaixo do emissor na irrigação por gotejamento. Como o nitrato normalmente se move para a frente de molhamento, a concentração desse íon logo abaixo do emissor é pequena.

5.1.6. Outros aspectos ligados ao nitrogênio

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

Os fertilizantes amoniacais não devem ser misturados com aqueles que apresentem efeito alcalino devido a perdas gasosas que podem ocorrer.

A aqua-amônia, a amônia anidra e os fosfatos de amônio solúveis em água promovem a elevação do pH da água.

Os polifosfatos de amônio são adequados para uso em fertirrigação. Esses produtos têm a propriedade de seqüestrar o cálcio presente na água de irrigação, evitando a formação de precipitados.

O balanço nitrato x amônio pode ter importância na absorção de outros íons. As plantas jovens (até três semanas) ainda não desenvolveram a nitrato redutase, e por isso, preferencialmente, o amônio é a forma mais importante. Já no final do ciclo, a absorção de fonte amoniacal diminui a absorção de Ca, o que afeta a qualidade dos frutos.

5.2. Fertilizantes fosfatados

No geral, a aplicação de fósforo através da irrigação por gotejamento não tem sido recomendada. A maioria dos fertilizantes fosfatados tem criado problemas de precipitação química ou física e, conseqüentemente, causa entupimento nos sistemas de irrigação. Quando se aplicam fontes inorgânicas de fósforo existe um alto risco de precipitação de fosfatos, como fosfato tricálcio, se as águas contiverem Ca e o pH for superior a 6,5. Portanto, deve haver critério na escolha da fonte quanto à concentração na água de irrigação.

Se a água é ácida, não há limitação para o uso do DAP, porém, caso haja Ca e o pH seja superior a 7, deve-se utilizar o MAP, que tem efeito acidificante, levando a um abaixamento 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 produza corrosão em peças metálicas da rede.

5.2.1. Movimentação de fósforo no solo

A taxa de fixação de P no solo é alta, e, conseqüentemente, o seu movimento é limitado. Com isso, várias fontes e métodos de aplicação de fósforo são tentadas para evitar, pelo menos parcialmente, os problemas de distribuição desse elemento no solo. Além do custo, as fontes inorgânicas de P têm diferenças quanto ao conteúdo de P e também quanto à solubilidade na água de irrigação.

Embora o movimento de P dependa de muitos fatores químicos e físicos do solo, a textura, 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 cinco a dez vezes se comparado à aplicação convencional. O movimento é maior com essa forma porque uma maior concentração, em uma faixa estreita do solo, satura os sítios de fixação próximos ao ponto de aplicação. O movimento de P no solo aumenta com a taxa de aplicação e também com o raio de molhamento (Figuras 1 e 2). Os dados mostram que o P caminhou no solo quando aplicado em doses elevadas, vencendo a capacidade de fixação do solo. Não somente o P se movimentou mais facilmente com o aumento da taxa, como também manteve uma alta concentração na zona da raiz depois de três meses.

Quanto ao tipo de solo (Figura 3), o fósforo aplicado como polifosfato de amônio via aspersão movimentou-se até 18 cm num solo arenoso, no entanto um pequeno caminamento ocorreu num solo argiloso.

O caminamento do fósforo no solo é, também, variável com a fonte utilizada. Uma maior movimentação do fósforo foi encontrada com aplicação via irrigação do ácido fosfórico em relação ao superfosfato triplo, (Figura 4).

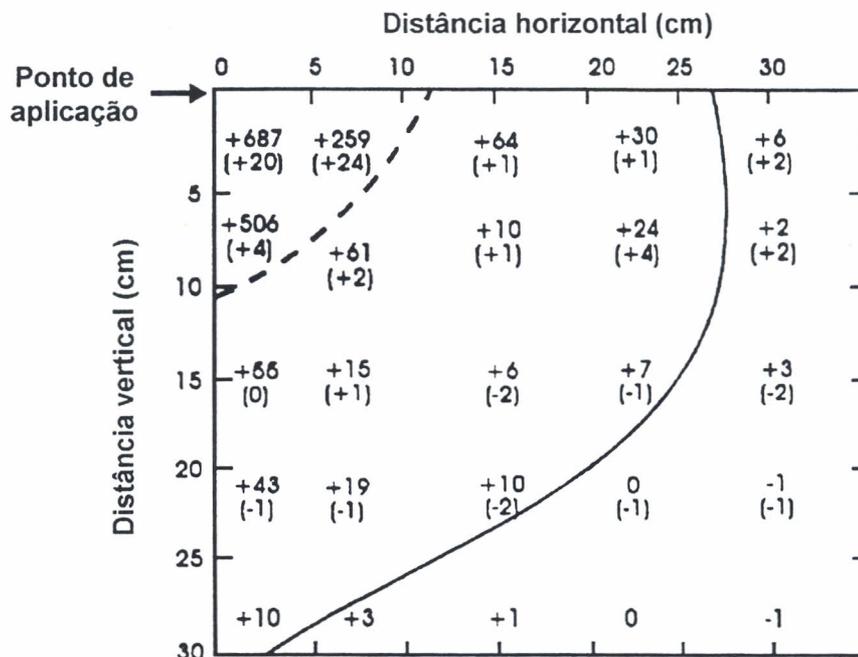


Figura 1. Influência da taxa de aplicação de ortofosfato sobre sua distribuição por um emissor em solo argiloso. A linha descontínua e a contínua representam o máximo alcance do fósforo para 6,5 (entre parênteses) e 39 Kg/ha de P aplicados, respectivamente.

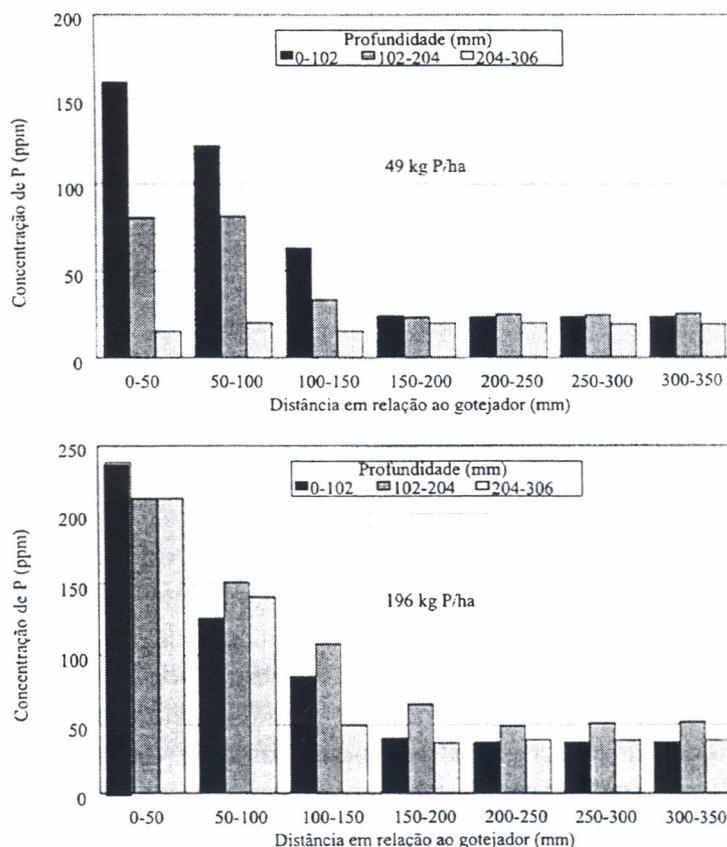


Figura 2. Distribuição do fósforo no solo decorrente da aplicação de diferentes doses de MAP. Adaptado de Miller et al., citados por ROLSTON et al. (1986).

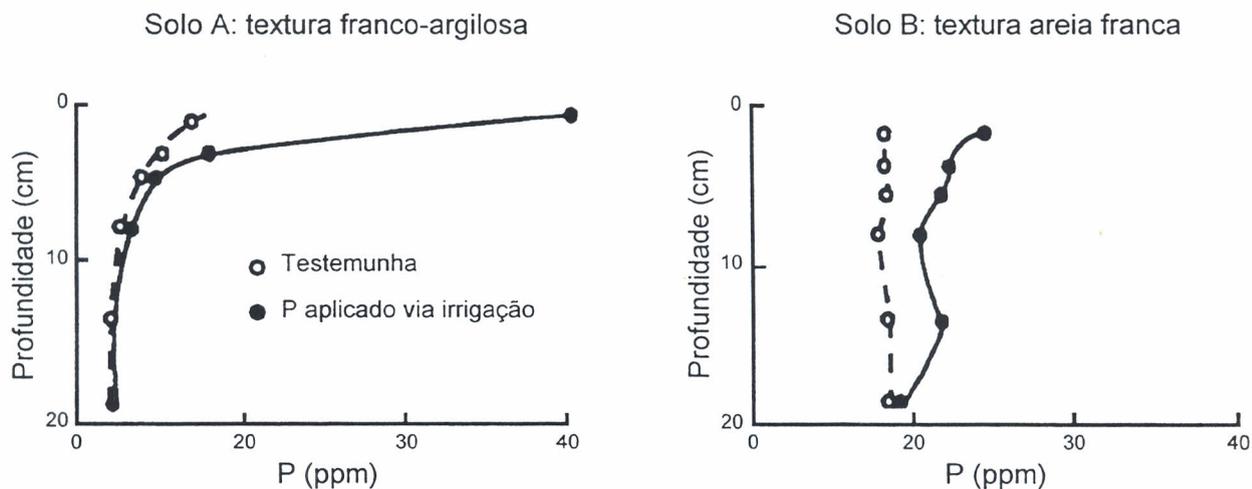


Figura 3. Distribuição do fósforo aplicado como fosfato de amônio via fertirrigação (HERGERT & REUSS, 1976).

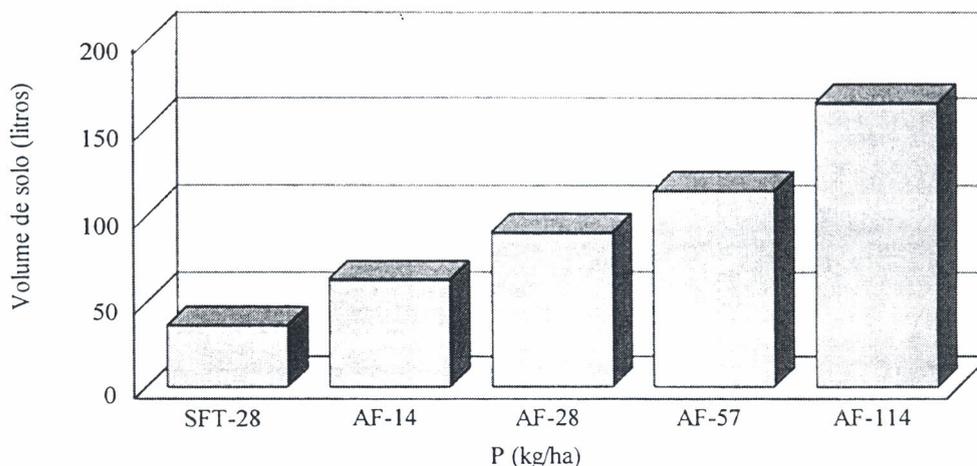


Figura 4. Volume de solo para o qual o fósforo aumentou mais que 5 ppm pela aplicação do superfosfato triplo (SFT) e ácido fosfórico (AF) em diferentes doses (O'NEILL & ROTH, 1979).

5.3. Fertilizantes potássicos

As fontes mais comuns de K são o cloreto, o nitrato e o sulfato de potássio. Dentre essas, o cloreto é a fonte mais utilizada, por ser a mais barata por unidade de K_2O . Em cultivos que necessitam de enxofre, o sulfato de potássio pode ser a melhor escolha, inclusive porque é a fonte de K que apresenta o menor potencial salino por unidade de K_2O . No entanto, entre as fontes citadas é a que apresenta menor solubilidade. O nitrato de potássio tem sido utilizado por apresentar alta solubilidade e potencial salino intermediário entre essas outras fontes.

O movimento de potássio no solo depende do tipo de solo e na maioria dos casos move-se com limitação. O potássio pode ser lixiviado em solos arenosos e com baixa CTC, porém, quando se aplicam doses normais de fertilizantes, perdas por lixiviação são extremamente baixas para a maioria das condições. O potássio pode movimentar-se no perfil do solo quando ocorrer concentração do elemento próximo ao emissor. Em fertirrigação, para culturas hortícolas, o potássio normalmente é aplicado, procurando-se evitar o acúmulo desse nutriente no solo.

Em relação à compatibilidade, deve-se tomar cuidado com misturas de fontes contendo potássio com a solução de uran. Antes da mistura nos tanques deve-se fazer o "teste de jarra". A mistura de cloreto de potássio com outra fonte contendo sulfato poderá diminuir a solubilidade do K, pois poderá haver formação de K_2SO_4 , que apresenta um terço da solubilidade do KCl.

5.4. Fertilizantes contendo cálcio, magnésio e enxofre

A aplicação de cálcio, via irrigação, é perigosa pelo alto risco de provocar precipitações, por isso deve-se restringir o seu uso o máximo possível. O nitrato de cálcio é a fonte de Ca mais solúvel, podendo ser usado, também, o cloreto de cálcio e as formas quelatizadas. No caso do uso de nitrato de cálcio, recomenda-se adicionar ácido nítrico concentrado na base de 0,3 litro por quilo de nitrato de cálcio quando o pH da água de irrigação for superior a 6,5.

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

Como fonte de enxofre pode-se utilizar o sulfato de amônio. Outras fontes como sulfato de potássio e de magnésio também são utilizadas. Porém deve-se tomar cuidado com a inconveniência do sulfato com o cálcio.

5.5. Fertilizantes contendo micronutrientes

Os quelatos e os sulfatos contendo micronutrientes são os compostos geralmente utilizados para corrigir deficiência de micronutrientes. Micronutrientes como o Zn, Fe, Cu e Mn podem reagir com sais da água de irrigação e causar precipitação e entupimento. Por isso, em muitos casos, esses micronutrientes são aplicados como quelatos, que são facilmente solúveis e causam poucos problemas de precipitação e entupimento. Pode, no entanto, haver incompatibilidade de nitrato de amônio e cálcio com os quelatos.

No solo, os micronutrientes quelatizados reagem menos e por isso apresentam maior mobilidade do que os sais (Figura 5).

Recomendam-se doses pequenas de micronutrientes em irrigação localizada, pois o volume de solo irrigado é pequeno, e as dosagens convencionais podem ser fitotóxicas. No caso do boro, em função da facilidade de lixiviação que esse nutriente apresenta, o parcelamento é a prática mais recomendada.

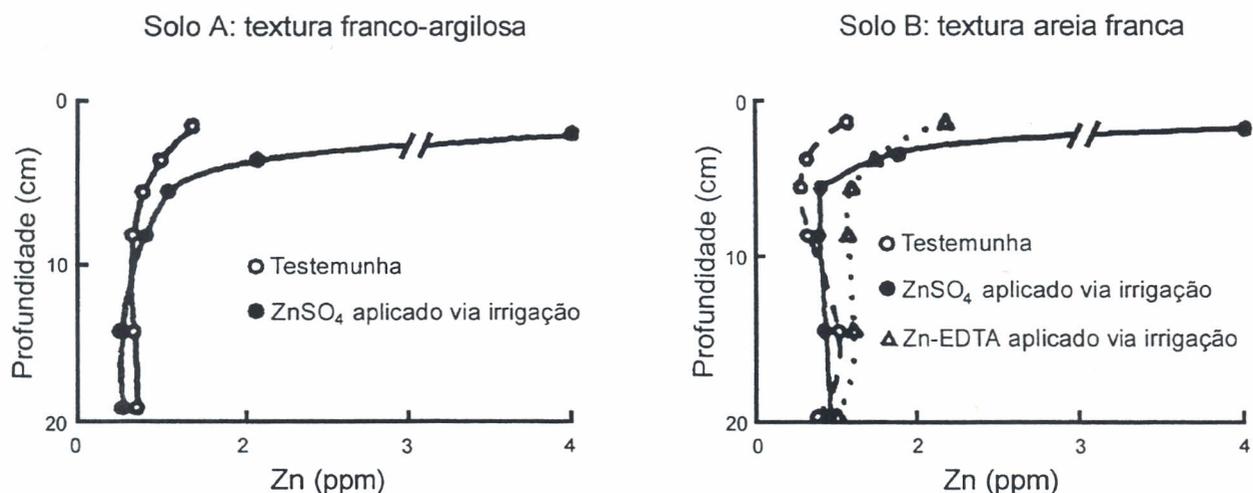


Figura 5. Distribuição de Zn aplicado como sulfato de zinco e Zn-EDTA no perfil de solos com diferentes classes texturais (HERGERT & REUSS, 1976).

6. FREQUÊNCIA DA FERTIRRIGAÇÃO

Há, basicamente, dois meios de aplicação de fertilizantes via irrigação: constante e periódica. A aplicação de solução diluída cada vez que a cultura é irrigada é conhecida como fertirrigação constante. A fertirrigação periódica consiste na aplicação concentrada da solução de fertilizantes, de acordo com o programa de fertirrigação, por exemplo a cada dois dias, uma vez por semana, etc. Na fertirrigação periódica a solução poderá ser várias vezes mais concentrada do que na constante. Uma visualização do efeito da aplicação constante e periódica de fertilizante líquido é apresentada na Figura 6.

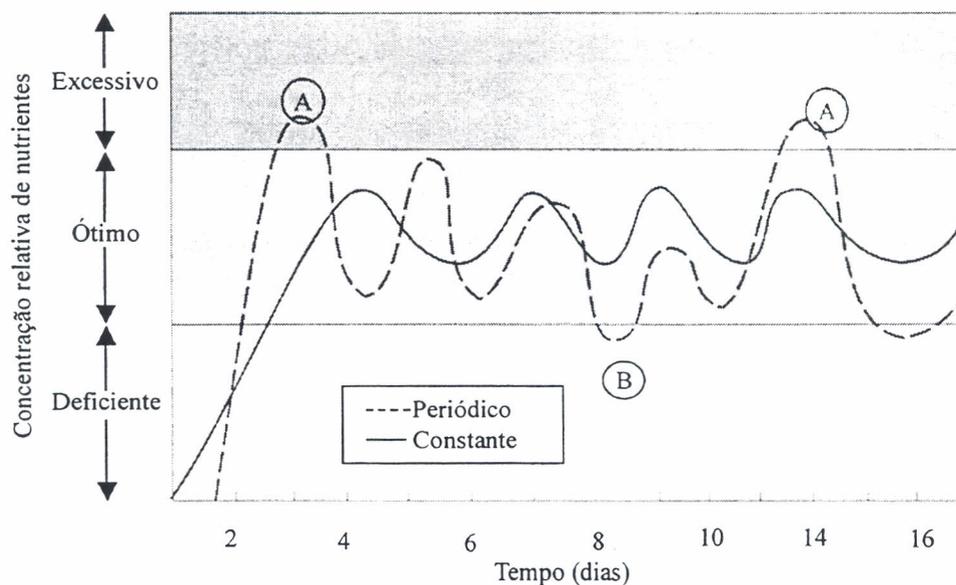


Figura 6. Concentração de nutrientes devido a aplicação periódica, comparada com programa de aplicação constante. Na aplicação periódica as chances de queima são grandes (A), e a deficiência (B) poderá ocorrer entre as aplicações.

Em função da maior concentração de fertilizante na solução durante a fertirrigação periódica, o nível de nutrientes na solução do solo poderá variar mais do que na aplicação constante. Essa flutuação poderá afetar o crescimento das plantas por causar deficiência ou toxidez. Poderia-se colocar, ainda, como vantagem da fertirrigação constante a distribuição de nutrientes que é mais uniforme ao longo do perfil. Como desvantagem, na aplicação constante tem-se um maior consumo de fertilizantes e também mais trabalho.

Na Tabela 15 é apresentada a variação no potencial salino em função da frequência de fertirrigação. É uma simulação da aplicação de nitrogênio para a planta de pimentão. Pela recomendação são necessários 2 gramas de N por planta a cada 15 dias. Supondo que a fonte de nitrogênio é nitrato de cálcio (15% de N), a quantidade necessária para o período será de 13,3 gramas de nitrato de cálcio por planta. Nota-se que os níveis de condutividade elétrica para aplicações menos frequentes ultrapassam o limite de salinidade para a planta de pimentão, causando prejuízos na produtividade, pelo menos no dia da aplicação.

Na aplicação mais freqüente, em função da quantidade de fertilizante aplicada, ocorre menor possibilidade de perdas por lixiviação, podendo-se também aplicar de forma mais precisa o que a planta necessita diariamente.

A aplicação de fertilizante, seguida por aplicações de água, poderá promover o arraste dos nutrientes para regiões mais profundas e em alguns casos fora do acesso das raízes.

No caso de aplicação periódica, o sistema deve inicialmente funcionar somente com a aplicação de água, passando a aplicar o fertilizante depois de atingir a pressão de trabalho dentro dos condutores. Do mesmo modo, o tempo de injeção de fertilizante no sistema não deve ser muito curto. Recomenda-se que esse tempo esteja acima de 15 a 20 minutos.

Tabela 15. Condutividade elétrica da solução em função da quantidade e frequência de aplicação de nitrato de cálcio.

Frequência de aplicação	Quantidade do adubo (g/planta)	Condutividade elétrica (dS/m)
A cada 2 dias	1,8	2,76
A cada 3 dias	2,7	3,75
A cada 4 dias	3,6	4,74
A cada 5 dias	4,5	5,74
A cada 7 dias	6,3	7,72
A cada 15 dias	13,5	15,70

7. QUANTIDADE DE FERTILIZANTES A SER APLICADA

As quantidades de fertilizantes recomendadas variam com a cultura, com o tipo de solo, com o teor de matéria orgânica e com o residual de nutrientes presentes no solo. Como regra básica, deve-se suprir os nutrientes de acordo com as taxas de crescimento das plantas para uma determinada estação (essa taxa varia com o plantio de inverno e verão).

Pode-se representar a necessidade de fertilizante pela da equação a seguir:

$$DOSE \ DE \ FERTILIZANTES = \frac{\text{Extração da cultura - fornecido pelo solo}}{\text{Eficiência de uso do fertilizante}}$$

Em situações não muito comuns no Brasil deve-se, também, considerar nessa equação o fornecimento de nutrientes através da água de irrigação.

7.1. Extração da cultura

A quantidade de nutrientes extraída pelas plantas é variável com o material genético, com a densidade de plantas, condições fitossanitárias, irrigação, ciclo, época do ano, etc., que irão refletir na produtividade.

Para determinação da quantidade extraída é importante conhecer as curvas de acúmulo de nutrientes das plantas para as condições em que se pretende plantar. Em alguns casos, na falta de informações, utilizam-se dados gerais como os da extração de nutrientes por tonelada de produção, extrapolando-se a necessidade para a produtividade que se deseja obter (Tabela 16).

Tabela 16. Extração de nutrientes pelo tomate, segundo alguns autores citados por PADILHA (1997).

Autor	Produtividade (t/ha)	Extração de nutrientes (kg/t)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Pérez Melián	120	3,66	4,46	5,80
A. Jacob	40	2,75	0,75	4,00
Besford	80	3,41	0,86	7,53
Serrano	40	2,75	0,63	3,75
Horta	50	5,00	1,60	5,40

Essas informações podem também ser dadas em extração de nutrientes por planta, como a apresentada para pimentão na Tabela 17.

Tabela 17. Valores de extração de nutrientes pelo pimentão heldor.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Absorção em gramas por planta (170dias)	9,776	1,245	12,507	8,924	1,201
Absorção (kg) para a produção de 100 kg de frutos	0,525	0,067	0,669	0,479	0,064
Absorção para produzir 40 t/ha (em kg)	210,0	26,8	267,6	191,7	25,6
Relação de absorção	1	0,13	1,27	0,91	0,12

Fonte: GRAIFENBERG et al. (1985).

Em outros casos, e de uma forma a se aproximar mais das características de crescimento das plantas, a extração é subdividida em função do estágio fisiológico da cultura. Essa informação permite que soluções com concentrações diferentes sejam aplicadas de acordo com o estágio da planta (Tabela 18).

Tabela 18. Necessidade de nutrientes em função do estágio da planta de pimentão com produtividade de 45 a 50 t/ha.

Etapas/produtos	até 6-8 folhas	6-8 folhas à frutificação	Colheita	2 a 3 últimas semanas da colheita
Duração (dias)	10	25	50	15
N (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	2,0	3 a 3,5	3,6	2,5
Proporção	1:1:1	2:1:2	2:1:3	1:0:1,5
Proporção por etapa	20:20:20	75:35:75	180:90:270	38:0:58
Kg/ha			313 - 145 - 425	

7.2. Fornecimento de nutrientes pelo solo

A concentração de nutrientes que já existente no solo tem fundamental importância na determinação da quantidade de fertilizante a ser aplicada. Por isso, uma análise química do solo antes da implantação da cultura é de extrema importância. Por exemplo, se a análise de solo determinar que o teor de K é médio, talvez somente 100 kg/ha de K sejam necessários. Numa situação de solo pobre em potássio, a quantidade aplicada poderá chegar a 150 kg/ha.

Além da análise química do solo de rotina, um novo conceito de calibração da adubação tem sido utilizado. É a análise do extrato de saturação do solo. Através desse extrato, determina-se a concentração de nutrientes solúveis na solução do solo. A adubação aplicada via irrigação visa elevar essa concentração para valores considerados ideais para as culturas, além de, também, corrigir distorções da relação entre os nutrientes no solo.

Quando se adota a frequência constante de fertirrigação, ou seja, a aplicação de nutriente é feita a cada aplicação de água, deve-se conhecer a concentração de nutrientes na água de irrigação. Algumas sugestões nesse aspecto são apresentadas nas Tabelas 19 e 20. Essas sugestões, embora sejam boas diretrizes, não trazem especificações quanto aos estágios fisiológicos das culturas.

Tabela 19. Recomendação de concentração de nutrientes na água de irrigação, em g de nutriente por m³, segundo PAPADOPOULUS (1993).

Cultura	N	P	K
Abóbora	150-200	30-50	150-200
Berinjela	130-170	50-60	150-200
Tomate	150-180	30-50	200-250
Feijão-vagem	80-120	30-50	150-200
Morango	80-100	30-50	150-200
Banana	15	---	45

Tabela 20. Concentração de nutrientes na água de irrigação para a cultura do pimentão, em função do estágio vegetativo.

Período (dias)	Fases	Concentração (ppm) N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
1 - 15	Estabelecimento	56 - 80 - 26
16 - 45	Crescimento	119 - 100 - 150
46 - 75	Até 1 fruto	107 - 36 - 108
76 - final	Produção	90 - 120 - 360

7.3. Eficiência de aproveitamento de fertilizante

No cálculo da quantidade de fertilizante a ser aplicado deve-se considerar a eficiência do aproveitamento dos nutrientes pela planta. Essa eficiência é variável segundo o sistema de irrigação, a fonte e o nutriente. Para a aplicação via gotejamento essa eficiência é maior que 80% para nitrogênio e potássio e cerca de 70% para fósforo.

8. MONITORAMENTO

No sistema de produção agrícola, muitas variáveis, como o solo, o material genético, o clima, etc., estão envolvidas e acabam influenciando o desenvolvimento das plantas. Por isso, a quantificação da necessidade de nutrientes pode, algumas vezes, não atender à demanda da planta ou ainda ser excessiva, vindo a causar efeitos negativos na produtividade. Em função disso, e por ser a fertirrigação uma técnica que permite alterações rápidas e precisas na quantidade de nutrientes aplicados, torna-se importante um monitoramento possibilitando promover os ajustes necessários ainda durante o ciclo da cultura.

Alguns desses parâmetros monitorados são de fácil determinação, podendo ser avaliados no campo; outros, porém, necessitam do suporte de um laboratório especializado. A seguir é apresentado como se pode monitorar a adubação.

8.1. Análise da água e do extrato de saturação

A partir da determinação periódica da CE: a) na água usada para irrigação; b) na solução estoque de fertilizante preparada; c) na solução que sai dos emissores, tem-se uma idéia do gradiente de nutrientes, permitindo identificar problemas de erros de dosagens, bem como desuniformidade na diluição e na aplicação dos fertilizantes via irrigação. Por meio desse índice podem-se alterar fontes e quantidades de fertilizantes aplicadas quando se identificar CE na solução acima do permitido para a cultura.

A condutividade elétrica determinada no extrato de saturação da camada onde se concentram as raízes dá idéia do potencial salino da solução do solo e, quando retirada de camadas mais profundas, permite diagnosticar se está ocorrendo lixiviação de nutrientes.

Do mesmo modo, a determinação do pH da água e do extrato de saturação permite que sejam escolhidas fontes mais adequadas tanto em misturas com a água como em relação às reações dos fertilizantes no solo.

8.2. Análise química de planta

Para um grande número de culturas já existem tabelas para interpretação dos valores de concentração de nutrientes nas folhas e em outros órgãos da planta, servindo como indicativo para modificar a adubação de modo a alcançar os valores adequados.

8.3. Análise química de tecido

Na análise de tecido utiliza-se o extrato somente de uma parte específica da planta (normalmente pecíolo), que é analisado em laboratórios ou no próprio campo utilizando

“kits” específicos para NO_3 , K e PO_4 . A vantagem dessa determinação é a rapidez, tornando mais ágeis as mudanças na adubação, se necessárias. A dificuldade é obter os padrões considerados ideais para esses íons no extrato do tecido.

8.4. Determinação do teor de clorofila nas plantas

Já existem no mercado equipamentos que determinam, por meio de medida realizada no próprio campo, e de forma instantânea, o teor de clorofila na folhas. Esse teor está diretamente relacionado com o teor de nitrogênio e, por meio de uma calibração prévia, poderá indicar o teor desse nutriente de forma bastante rápida e precisa.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fertirrigação está se tornando uma prática comum na agricultura irrigada nas diferentes áreas do mundo. No entanto, esta técnica tem sido praticada sem o adequado conhecimento e controle. Isso porque envolve conhecimentos de várias áreas como solo e adubação (quantidade, parcelamento, fontes, etc.), fisiologia vegetal (curva de extração de nutrientes) e água. A formação de equipes multidisciplinares é a melhor forma para o desenvolvimento de pesquisas e divulgação da técnica junto aos agricultores.

A fertirrigação é, no entanto, o chamado “estado da arte da nutrição de plantas,” e os resultados ora obtidos são bastante positivos. Tem-se observado nos experimentos envolvendo fertirrigação que a técnica permite aumentar a eficiência dos fertilizantes, a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, bem como, pelo melhor uso dos adubos, proporcionar melhoria na qualidade do meio ambiente.

10. BIBLIOGRAFIA

- BURT, C., O'CONNOR, K., RUEHR, T. *Fertirrigation*. The irrigation training Research Center California Polytechnic State University. San Luis Obispo. 1995. 320p.
- GRAIFENBERG, A., PETSAS, S., LENZI, I. The growth and removal of nutrients in sweet peppers grown in an unheated greenhouse. *Colture protette*, v.14, n.12, p. 33-8, 1985. In: *CAB Abstracts on CD-Rom*, 1984-1986.
- HERGERT, G.W., REUSS, J.O. Sprinkler application of P and Zn fertilizers. *Agronomy Journal*, Madison, v.68. p.5-8, 1976.
- LANDIS, T.D. Mineral nutrients and fertirrigation. In: LANDIS, T.D., TINUS, R.W., McDONALD, S.E., BARNETT J.P. *The container tree nursery manual*, 4. Agricultural Handbook, 674. Washington, Department of Agriculture, Forest Service. 1989, 1-67.
- LORENZ, O.A., MAYNARD, D.N. *Knott's Handbook for vegetables growers*. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1988. 456p.
- O'NEILL, M. K., ROTH, R.L. Orthophosphoric acid as a phosphorus fertilizer in trickle irrigation, *Soil Science Society American Journal*, v.43, 283-6, 1979.
- PADILHA, W. Fertirrigación bajo condiciones de invernadero en Ecuador. In: GOTO, R. et al. *Foro internacional de cultivo protegido*. Unesp, Botucatu. 1997. p. 263-81.

- PAPADOPOULOS, I. *Regional middle east and europe project on nitrogen fixation and water balance studies*. Assigment report, Vienna, 1993. 58p.
- RAUSCHKOLB, R.S. ROLSTON, D.E., MILLER, R.J., et al. Phosphorus fertilization with drip irrigation. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.40, n.1, p.68-71, 1976.
- ROLSTON, D.E., MILLER, R.J., SCHULBACH, H. Management principles In: NAKAYAMA, F.S., BUCKS, D.E. ed. *Developments in agricultural engineers*, Berkeley, 1986. p.317-44.
- ROLSTON, D.E., RAUSCHKOLD, R.S., PHENE, C. J., et al. *Applying nutrients and other chemicals to trickle-irrigated crops*. California University, Berkeley, 14p., 1979. (Bull 1893).
- ROSA, E.A.S. Salinização em ambiente protegido In: GOTO, R. et al. *Foro Internacional de Cultivo Protegido*. Unesp, Botucatu, 1997. p. 226-62.
- SHAW, E. J. *Western fertilizer handbook*, Sacramento: California Fertilizer Association. 1961, p. 163.
- VILLAS BÔAS, R.L., BOARETTO, A.E., VITTI, G.C. Aspectos da fertirrigação. In: VITTI, G.C., BOARETTO, A.E. ed. *Fertilizantes Fluidos*. Piracicaba, Potafós, 1994, p.283-308.