Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças

2ª edição



Editores técnicos

Valdemício Ferreira de Sousa | Waldir Aparecido Marouelli | Eugênio Ferreira Coelho
José Maria Pinto | Maurício Antonio Coelho Filho

Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cocais
Embrapa Hortaliças
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Embrapa Semiárido
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças

2ª edição

Valdemício Ferreira de Sousa
Waldir Aparecido Marouelli
Eugênio Ferreira Coelho
José Maria Pinto
Maurício Antônio Coelho Filho

Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2014

Embrapa Cocais
Av. Santos Dumont, nº 18, Bairro Anil
Edifício Incra, Bloco 3
CEP 65046-660 São Luís, MA
Fone: (98) 3878-1353 | Fax: (98) 3878-1360
www.emprapa.br | www.emprapa.br/fale-conosco/sac/

Embrapa Hortaliças
Rodovia Brasília–Anápolis, BR 060, km 9
Caixa Postal 218
CEP 70359-970 Brasília, DF
Fone: (61) 3385-9000 | Fax: (61) 3556-5744
www.emprapa.br | www.emprapa.br/fale-conosco/sac/

Embrapa Mandioca e Fruticultura
Rua Embrapa, s/nº
CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA
Fone: (75) 3312-8000 | Fax: (75) 3312-8097
www.emprapa.br | www.emprapa.br/fale-conosco/sac/

Embrapa Semiárido
BR 428, km 152, Zona Rural
Caixa Postal 23
CEP 56302-970 Petrolina, PE
Fone: (87) 3862-1711 | Fax: (87) 3862-1744
www.emprapa.br | www.emprapa.br/fale-conosco/sac/

Embrapa Informação Tecnológica
Parque Estação Biológica (PqEB),
Av. W3 Norte (final)
CEP 70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4236 | Fax: (61) 3448-2494
www.embrapa.br/livraria| livraria@embrapa.br

Unidades responsáveis pelo conteúdo
Embrapa Cocais
Embrapa Hortaliças
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Embrapa Semiárido

Unidade responsável pela edição (e-book)
Embrapa Informação Tecnológica

Coordenação editorial: *Selma Lúcia Lira Beltrão, Lucilene Maria de Andrade, Nilda Maria da Cunha Sette*
Supervisão editorial: *Wyviane Carlos Lima Vidal*
Revisão de texto: *Jane Baptistone de Araújo, Josmária Madalena Lopes, Rafael de Sá Cavalcanti, Francisco de Assis David da Silva (Embrapa Meio-Norte)*
Revisão do e-book: *Maria Cristina Ramos Jubé*
Normalização bibliográfica: *Iara Del Fiaco Rocha, Márcia Maria Pereira de Souza*
Projeto gráfico, editoração eletrônica: *Anapaula Rosário Lopes*
Tratamento digital de imagens: *Anapaula Rosário Lopes, Mário César Moura de Aguiar, Paula Cristina Rodrigues Franco*
Capa: *Luiz Elson Araújo Fontele (Embrapa Meio-Norte)*
Fotos da capa: *Manga: José Maria Pinto; Maracujá: Valdemício Ferreira de Souza; Tomate e pivô central: Waldir Aparecido Marouelli; Gotejamento sobre o solo: Luís Carlos Nogueira*
Conversão do E-book: *WOC Tecnologia da Informação LTDA*
Tratamento editorial do e-book: *Alexandre Abrantes Cotta de Mello, Leandro Sousa Fazio*

1ª edição
1ª impressão (2011): 1.000 exemplares

2ª edição
E-book (2014)

Todos os direitos reservados
Para uso exclusivo de Embrapa Hortali&#65533;as. A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Informação Tecnológica

Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças / Valdemício Ferreira de Sousa ... [et al.], editores técnicos. – 2. ed. – Brasília, DF : Embrapa, 2014.
E-book : il. color.

E-book, no formato ePub, convertido do livro impresso.

ISBN 978-85-7035-353-5

1. Sistema de cultivo. 2. Cultura irrigada. 3. Manejo de água. 4. Equipamento de irrigação. 5. Evapotranspiração. I. Sousa, Valdemício Ferreira de. II. Marouelli, Waldir Aparecido. III. Coelho, Eugênio Ferreira. IV. Pinto, José Maria. V. Coelho Filho, Maurício Antônio. VI. Embrapa Cocais. VII.Embrapa Hortaliças. VIII. Embrapa Mandioca e Fruticultura. IX. Embrapa Semiárido.

CDD 631.7

© Embrapa 2014

Autores

Aderson Soares de Andrade Júnior
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Ana Lúcia Borges
Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

Andréia Rodrigues de Araújo
Engenheira-agrônoma, tecnóloga da Suzano Papel e Celulose S. A., Teresina, PI

Antônia Fonseca de Jesus Magalhães
Engenheira-agrônoma, pesquisadora aposentada da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

Antônio Francisco Souza
Engenheiro-agrônomo. D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador aposentado da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

Antônio Heriberto de Castro Teixeira
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

Arlene Maria Gomes de Oliveira
Engenheira-agrônoma, M.Sc. em Ciências do Solo, pesquisadora da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

Áureo Silva de Oliveira
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Engenharia Agrícola e de Biossistemas, professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA

Braz Henrique Nunes Rodrigues
Engenheiro-agrícola, M.Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Carlos César Pereira Nogueira
Engenheiro-agrícola, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Celsemy Eleutério Maia

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Recursos Naturais, professor da Universidade Federal Rural do Semiárido (Ufersa), Mossoró, RN

Dani Or
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Física de Solos, professor do Instituto Federal Suíço de Tecnologia de Zurique (ETHZ), Zurique, Suíça

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

Édio Luiz da Costa
Engenheiro-agrícola, D.Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), Prudente de Morais, MG

Edson Alves Bastos
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Ênio Farias de França e Silva
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Engenharia de Irrigação, professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, PE

Eugênio Ferreira Coelho
Engenheiro-agrícola, Ph.D. em Engenharia de Irrigação, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA,

Flavio Favaro Blanco
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Francisco Adriano de Carvalho Pereira
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA

Francisco José de Seixas Santos
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Greice Ximena Santos Oliveira
Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Física do Ambiente Agrícola, bolsista do Programa de apoio a projetos institucionais com a participação de recém doutores (Prodoc), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA

Hans Raj Gheyi
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Ciências Agronômicas, professor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB

Jailson Lopes Cruz
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

José Francismar de Medeiros
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Agronomia, pesquisador da Universidade Federal Rural do Semiárido (Ufersa), Mossoró, RN

José Geraldo Ferreira da Silva
Engenheiro-agrícola, D.Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisador do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), Vitória, ES

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

Levi de Moura Barros
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza , CE

Lindbergue de Araújo Crisóstomo
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Química Agrícola e Solos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Luis Carlos Nogueira
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Engenharia Agrícola e Biológica, pesquisador da Embrapa Cocais, São Luiz, MA

Luís Henrique Bassoi
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Engenharia Nuclear na Agricultura, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

Luiz Francisco da Silva Souza
Engenheiro-agrônomo, M.Sc. em Ciências do Solo, pesquisador aposentado da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

Luiz Roberto Angelocci
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Fisiologia Vegetal, professor da Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP

Marco Antônio Fonseca da Conceição
Engenheiro-civil, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical, Jales, SP

Marcos Emanuel da Costa Veloso
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Maurício Antonio Coelho Filho
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

Osmar Alves Carrijo (in memoriam)
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Solos e Irrigação, pesquisador aposentado da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

Otávio Alvares de Almeida
Engenheiro-civil, Ph.D. em Produção Vegetal, analista aposentado da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

Paulo Cezar Rezende Fontes
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG

Ronessa Bartolomeu de Souza
Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

Rubens Alves de Oliveira
Engenheiro-agrícola, D.Sc. em Engenharia Agrícola, professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG

Sanzio Mollica Vidigal
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Fitotecnia, pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), Viçosa, MG

Valdemício Ferreira de Sousa
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Cocais, São Luiz, MA

Vital Pedro da Silva Paz
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA

Vitor Hugo de Oliveira
Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Waldir Aparecido Marouelli
Engenheiro-agrícola, Ph.D. em Engenharia Agrícola e de Biossistemas, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

Washington Luiz de Carvalho e Silva
Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Engenharia de Irrigação, pesquisador aposentado da Embrapa Sede, Brasília, DF

Água que rega

A chuva cai e molha o chão,
faz crescer a plantação...

Se a chuva parar e a terra secar,
plantas podemos regar...

Brota, acende a esperança,
o menino se encanta...

Mas não podemos desperdiçar,
para que água não venha a faltar...

Gotas de água que molham,
rios de água que rolam...

É urgente começar,
poupar, preservar, economizar...

Waldir Marouelli

Dedicamos este livro àqueles que trabalham com agricultura irrigada, em especial aos pequenos, médios e grandes produtores, e aos profissionais que promoverão a transferência dos conhecimentos aqui contidos.

Agradecemos aos colegas da Embrapa e instituições parceiras, que contribuíram para a condução dos inúmeros experimentos que geraram as tecnologias aqui apresentadas.

Aos membros dos comitês locais de publicações da Embrapa Hortaliças, da Embrapa Mandioca e Fruticultura, da Embrapa Meio-Norte, da Embrapa Semiárido e da Embrapa Uva e Vinho, pelas sugestões e revisão dos capítulos.

Ao Banco do Nordeste, ao CNPq, à Finep e à Petrobras, pelo aporte financeiro em vários projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Apresentação

O crescimento da população humana tem exigido maiores investimentos para aumentar a produção de alimentos e de outros produtos agrícolas, seja pela incorporação de novas áreas ao sistema produtivo, seja pelo aumento da produtividade. A limitada disponibilidade de novas fronteiras agrícolas e, principalmente, os impactos ambientais provocados pela ação do homem no último século, com mudanças acentuadas no clima do planeta, têm demandado ações concretas e eficazes que visam a um aumento da eficiência e da sustentabilidade da agricultura.

Tal aumento passa pelo uso de tecnologias capazes de otimizar a utilização dos recursos naturais e elevar o rendimento das culturas exploradas, com um mínimo de impacto ambiental. Somente com uma agricultura moderna e tecnicamente intensiva, com a utilização eficiente dos recursos naturais, da genética, da irrigação e dos diferentes insumos, será possível multiplicar a capacidade produtiva da terra e elevar a produção agrícola de forma sustentável.

A irrigação é destacadamente uma das práticas agrícolas que possibilita maior impacto no aumento da produtividade na agricultura, viabilizando, inclusive, a produção em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Apesar disso a irrigação é ainda realizada de forma inadequada, geralmente com grande desperdício de água. Estudos indicam que, em média, cerca de 50% da água capitada para fins de irrigação é perdida, não utilizada pelas plantas. Tais perdas são inaceitáveis, principalmente, quando se sabe que em

muitas regiões no Brasil e no mundo a água é um fator altamente limitante.

Outro fator normalmente limitante para a produção agrícola é a fertilidade dos solos, especialmente em regiões tropicais. Na agricultura irrigada, em que a otimização do uso da terra é fundamental, a questão nutricional torna-se ainda mais importante. A adoção da fertirrigação está relacionada a uma série de vantagens técnicas e econômicas, quando comparadas aos métodos tradicionais de adubação, desde que realizada com critério.

Dentre as espécies cultivadas, as fruteiras e as hortaliças são aquelas que geralmente apresentam maior custo de produção e que são mais sensíveis à falta de água. Logo, avanços significativos na fruticultura e na olericultura brasileira só foram possíveis graças ao uso da irrigação. São espécies que possibilitam ganhos expressivos de produtividade e de qualidade quando exploradas de forma intensiva e com manejo que garanta a aplicação de água e de nutrientes em quantidades precisas e em momentos oportunos.

Nas áreas de irrigação e fertirrigação de fruteiras e de hortaliças, várias Unidades da Embrapa têm desenvolvido trabalhos de pesquisa, de adequação e de validação de tecnologias visando atender e contribuir para o fortalecimento e a sustentabilidade de diferentes cadeias produtivas. Muitos dos trabalhos têm sido realizados em parceria com universidades, empresas estaduais de pesquisa e de extensão, empresas agropecuárias e produtores.

Como fruto desse trabalho, temos o prazer de apresentar à sociedade brasileira o presente livro, construído por uma equipe que envolve quarenta e seis autores (pesquisadores, professores e técnicos) de doze instituições e sete Unidades da Embrapa. A

publicação reúne uma série de tecnologias, arranjos tecnológicos e recomendações técnicas sobre irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças capazes de incrementar a lucratividade e a sustentabilidade do setor produtivo para as diferentes espécies contempladas, assim como favorecer a oferta produtos de melhor qualidade e a preços mais acessíveis ao consumidor final.

Pedro Antonio Arraes Pereira
Diretor-Presidente da Embrapa

Prefácio

O livro Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças é resultado da longa experiência profissional e dos inúmeros trabalhos de pesquisa que os autores desenvolveram na Embrapa, nas empresas de pesquisa estaduais e em universidades. Muitos desses trabalhos foram realizados ou validados em parceria com o setor produtivo, incluindo pequenos produtores, e com Empresas de Assistência Técnica e Extensão Rural (Ematers).

Para melhor entendimento dos leitores, o livro, com um total de 26 capítulos, é dividido em dois momentos. Os primeiros dez capítulos discutem conceitos básicos e atuais sobre o tema em questão e apresentam parâmetros técnicos específicos para um considerável número de fruteiras e hortaliças.

Os dezesseis capítulos restantes apresentam informações e recomendações técnicas específicas para a irrigação e fertirrigação de oito fruteiras (abacaxi, banana, caju, citros, mamão, manga, maracujá e uva) e de oito hortaliças (batata, cebola, cenoura, melancia, melão, pimentão, pepino e tomate).

Enquanto os tópicos abordados na primeira parte do livro, de caráter mais teórico e didático, podem ser encontrados de forma diluída em algumas publicações internacionais e nacionais, a segunda parte traz uma série de informações e processos tecnológicos específicos para a irrigação e fertirrigação das principais fruteiras e hortaliças. Todas essas informações − plenamente adaptadas às condições

brasileiras − somente agora se tornaram disponíveis nesta publicação.

Apesar de os capítulos específicos sobre fruteiras e hortaliças trazerem, muitas vezes, informações e recomendações relativamente completas sobre manejo da irrigação e da fertirrigação, a leitura dos capítulos iniciais é de grande importância para a melhor compreensão dos processos envolvidos. Tais capítulos trazem informações altamente relevantes tanto para a formação de uma fundamentação teórica minimamente requerida para leitores com conhecimento técnico limitado sobre o assunto, quanto para a realização de irrigações e fertirrigações de qualidade.

O propósito de se elaborar um livro com tal conteúdo deveu-se, principalmente, aos seguintes fatores: a) as fruteiras e as hortaliças são, em geral, produzidas com irrigação; b) a aplicação de fertilizantes via água é essencial na irrigação localizada; c) irrigações e fertirrigações geralmente são realizadas de forma inadequada, com desperdício de água e nutrientes; d) irrigações e fertirrigações em excesso favorecem maior incidência de pragas, lixiviação de nutrientes e danos ambientais; e) o baixo índice de adoção de tecnologias apropriadas de manejo de irrigação deve-se, sobretudo, ao fato de os produtores acreditarem que elas são dispendiosas, complexas e trabalhosas; f) observa-se grande dificuldade na transferência de tecnologias com enfoque em manejo de irrigação; g) há carência de publicação com recomendações de manejo de irrigação e de fertirrigação em fruteiras e hortaliças para as condições brasileiras.

Além de fonte de consulta para pesquisadores, professores e estudantes de graduação e de pós-graduação na área agrícola, esta

publicação tem por objetivo disponibilizar para produtores e técnicos ligados à área de produção de frutas e hortaliças uma série de informações e procedimentos técnicos para aprimoramento do manejo da irrigação e da fertirrigação. Adotadas de forma adequada, tais recomendações poderão contribuir para maior competitividade e sustentabilidade das principais cadeias produtivas de frutas e hortaliças, com impacto direto na redução do desperdício de água, energia e fertilizantes, no aumento de produtividade, na maior lucratividade do produtor e na oferta de produtos de melhor qualidade ao consumidor final.

Os Editores

Introdução

Irrigação e fertirrigação

Waldir Aparecido Marouelli
Valdemício Ferreira de Sousa

As fruteiras e as hortaliças são, em geral, espécies de alto valor econômico, caracterizadas pelo alto custo de produção, mas que possibilitam incrementos significativos de produtividade e de receita líquida quando exploradas de forma tecnificada e intensiva, com o fornecimento de água e de nutrientes em quantidades precisas e em momentos oportunos, via irrigação e fertirrigação, respectivamente.

Os dados mais recentes divulgados pelo IBGE, referentes à safra de 2008, indicam que a área de fruteiras tropicais, subtropicais e de clima temperado plantada no Brasil foi de 2,266 milhões de hectares, com produção de 42,7 milhões de toneladas (CARVALHO et al., 2010). Com relação às hortaliças, a área cultivada foi de 808 mil hectares e a produção atingiu 19,3 milhões de toneladas (CORREIA et al., 2010).

A base agrícola das cadeias produtivas de frutas e de hortaliças gera mais de 8 milhões de empregos diretos nas propriedades rurais envolvidas e apresentou, em 2008, um faturamento de R$ 36,5 bilhões (A LAVOURA, 2010; GLOBAL 21, 2011; REETZ et al., 2009). Portanto, a produção de frutas e de hortaliças está entre as atividades agrícolas que mais geram empregos e distribuem renda no campo.

Muito embora o Brasil seja o país com a maior disponibilidade de água doce do planeta, sua distribuição regional e temporal é muito desigual. O problema é mais grave em algumas estações do ano e regiões específicas, onde o conflito pelo uso da água, tanto para fins agrícolas, quanto urbanos e industriais, já pode ser observado. Com relação aos recursos hídricos superficiais, a agricultura irrigada, com cerca de 3,89 milhões de hectares plantados em 2008, é a principal usuária, sendo responsável pelo consumo de aproximadamente 70% de toda a água derivada dos mananciais (SILVA et al., 2010).

A irrigação, principalmente quando associada à fertirrigação, é provavelmente a prática agrícola que permite maior aumento de produtividade na agricultura, inclusive viabilizando a produção de frutas e de hortaliças em regiões com baixa disponibilidade hídrica e, até mesmo, em solos arenosos e de pouca fertilidade. Apesar de ser uma tecnologia incorporada aos diversos sistemas produtivos de fruteiras e hortaliças, especialmente nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, o manejo de irrigação no Brasil é ainda realizado de forma inadequada, geralmente com grande desperdício de água.

Estima-se que, de toda a água captada para fins de irrigação, apenas 50% seja utilizada pelas plantas. Em sistemas de irrigação por superfície, as perdas podem ultrapassar 75%. Além do maior gasto de água, irrigações excessivas acarretam prejuízos à produção, maior lixiviação de nutrientes, incidência de pragas e impactos ambientais. O problema ocorre principalmente por causa do uso de sistemas de irrigação com baixa eficiência de aplicação de água e à insignificante utilização de critérios técnicos consistentes para o manejo da água de irrigação. Tal situação tem levado inúmeros projetos de irrigação a uma condição de baixa sustentabilidade econômica e socioambiental.

De acordo com estimativas de Rosegrant et al. (2002), a área irrigada na América Latina deve crescer em torno de 21% até 2025. O incremento na demanda hídrica, no entanto, deverá resultar numa taxa ainda maior nas próximas décadas, devido ao impacto que o aquecimento global poderá causar no clima da Terra e, consequentemente, na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas. Isso porque ocorrerá um aumento na demanda de água pelas plantas e um agravamento na ocorrência de secas, com consequente aumento da área irrigada. Assim, a irrigação é uma prática agrícola fundamental para minimizar os impactos que tais mudanças climáticas poderão ter na agricultura (GAIA, 2005). Dessa forma, o cenário atual e futuro apontam para a necessidade de se enfocar a água como insumo vital e estratégico, e de enfatizar a racionalização do seu uso visando reduzir perdas em quantidade e qualidade.

A racionalização do uso de água na agricultura irrigada, diferente do que é apresentado por muitos, não se faz apenas pela conversão ou adoção de sistemas de irrigação notoriamente mais eficientes, como o gotejamento, mas também pelo uso de estratégias racionais para o manejo da água de irrigação (quando e quanto irrigar), de programas eficientes de manutenção de sistemas de irrigação e de práticas de cultivo que minimizem as perdas de água por evaporação, escoamento superficial ou percolação profunda. Além de minimizar o desperdício de água e reduzir impactos ambientais, a adoção e o uso de tecnologias poupadoras de água proporcionam ganhos significativos de produtividades e, dessa forma, proporciona maior sustentabilidade econômica ao produtor.

Outro aspecto altamente limitante na produção agrícola, sobretudo em regiões tropicais, é a fertilidade dos solos. A questão nutricional

das culturas torna-se ainda mais importante na agricultura irrigada, pois nessa atividade produtiva se busca otimizar todos os fatores associados à produção.

A fertirrigação é uma prática de adubação em que os nutrientes são aplicados nos cultivos de forma parcelada, juntamente com a água de irrigação. Desde que realizada com critério, apresenta uma série de vantagens técnicas e econômicas em relação aos métodos tradicionais de adubação. Isso em razão do parcelamento permitir manter a fertilidade no solo próxima ao nível ótimo durante todo o ciclo da cultura, possibilitar ganhos de produtividade e reduzir as perdas de nutrientes.

A prática é altamente recomendada para uso em sistemas de irrigação localizada. Irrigar por gotejamento ou por microaspersão, sem o uso da fertirrigação, é pouco eficiente e normalmente não proporciona ganho econômico compensador. Mesmo na irrigação por aspersão, notadamente via pivô central, a fertirrigação também pode ser utilizada com vantagens.

Os nutrientes mais usados para fertirrigação são aqueles de maior mobilidade no solo, como o nitrogênio e o potássio. A aplicação de fósforo, de cálcio e de outros nutrientes via água de irrigação também pode ser vantajosa em condições específicas.

A maior sustentabilidade da agricultura, de forma a atender a atual demanda da sociedade mundial, passa, portanto, pelo uso de tecnologias capazes de minimizar impactos ambientais e maximizar benefícios socioeconômicos. Tal condição somente pode ser alcançada com uma agricultura moderna e tecnicamente consistente, sendo a irrigação e a fertirrigação práticas importantes

na busca contínua de elevar a produção agrícola de forma sustentável.

A presente publicação tem por objetivo disponibilizar a produtores, pesquisadores, professores e técnicos ligados às cadeias produtivas de frutas e de hortaliças informações e processos, plenamente adaptados para as condições brasileiras, para aprimoramento do manejo da irrigação e da fertirrigação nas principais fruteiras e hortaliças cultivadas no Brasil.

Referências

A LAVOURA. Hortaliças: tomate lidera crescimento e lucratividade no setor de hortaliças. **A Lavoura**, Brasília, v. 113, n. 676, p. 29-31, 2010.

CARVALHO, C.; VENCATO, A. Z.; KIST, B, B.; SANTOS, C.; SILVEIRA, D.; REETZ, E. R.; BELING, R. R.; CORRÊA, S. **Anuário brasileiro de fruticultura**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2010. 128 p.

CORRÊA, S.; SILVEIRA, D.; KIST, B. B.; BELING, R. R., VENCATO, A. Z. **Anuário brasileiro de hortaliças**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2010. 88 p.

GAIA. **Combatendo o aquecimento global e seus efeitos**. Châtelaine, Switzerland: The GAIA-Movement, 2005. 17p. Disponível em: <http://www.gaia-movement.org/files/Boletim%20GAIA%20Julho%202005%20Hi%20Res.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2010.

GLOBAL 21. **Fruticultura**. Disponível em: <http://www.global21.com.br/informessetoriais/setor.asp?cod=6>. Acesso em: 29 abr. 2011.

REETZ, E. R.; SANTOS, C.; CORRÊA, S.; SILVEIRA, D.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro de fruticultura**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2009. 136 p.

ROSEGRANT, M.W., CAI, X.; CLINE, S.A. **Global water outlook to 2025: averting an impending crisis**. Washington: International Food Policy Research Institute: International Water Management Institute, 2002. 28p.

SILVA, H. R; MAROUELLI, W. A.; CHRISTOFIDIS, D. Situação da irrigação no Brasil. In: IICA, PROCISUR. **El riego en los países del Cono Sur**. Montevidéu: IICA: PROCISUR,

2010. p. 51-64.

Capítulo 1

Relação solo-planta-atmosfera

Maurício Antonio Coelho Filho
Luís Henrique Bassoi
Luiz Roberto Angelocci
Eugênio Ferreira Coelho
Francisco Adriano de Carvalho Pereira

Importância da água para os vegetais

Entre os fatores do ambiente que afetam o crescimento vegetal e a produtividade agrícola, a disponibilidade hídrica é o mais importante na maioria das regiões, pois define o grau de aptidão climática das regiões às culturas. A deficiência ou o excesso hídricos devem ser considerados no manejo agrícola, e exigem muitas vezes a intervenção humana por meio da irrigação para corrigir ou minimizar essa deficiência.

A importância ecofisiológica da água decorre do papel fundamental que ela tem para os vegetais, não somente por ser o seu constituinte em maior proporção, representando até cerca de 95% da massa fresca de órgãos como os frutos e as folhas novas, mas também por apresentar propriedades únicas de viscosidade, tensão superficial, constante dielétrica, calor específico, e calor latente de vaporização e de forças de adesão e coesão, que a fazem ter funções importantes. São elas: a) dar estabilizadade térmica tanto aos tecidos como ao ambiente (elevado calor específico, C_p = 4.182 J kg^{-1} K^{-1}); b) fazer o controle térmico das folhas pelo processo de transpiração (elevado calor latente de vaporização, λ = 2,454 MJ kg^{-1} a 20 °C); c) ser solvente natural e meio para reações bioquímicas (elevada constante dielétrica, D = 80,2 a 20 °C) e para

transporte de nutrientes do solo para a copa das plantas, com redistribuição entre os respectivos órgãos; d) representar um meio contínuo na planta (forças de adesão, coesão e tensão superficial), interligando o sistema solo-planta-atmosfera; e) responder pela pressão de turgescência das células e, consequentemente, ser responsável pela expansão celular (JONES; TARDIEU, 1998) e rigidez das plantas, sendo esta a pressão que fornece suporte aos caules.

Pelas inúmeras funções exercidas pela água no complexo vegetal, é importante o seu adequado suprimento para a obtenção das máximas produtividades das culturas. A deficiência hídrica pode causar desde a simples paralisação temporária do crescimento e do desenvolvimento vegetal até a morte por secagem completa e incapacidade do vegetal em retomar as suas atividades fisiológicas após um período de deficiência severa. Quando promovida por um período de veranico ou por uma seca prolongada em regiões subúmidas e semiáridas, ela terá atuação diferente de acordo com a espécie cultivada. Geralmente, plantas que apresentam ciclo curto, como as hortaliças, sofrem muito mais os efeitos de deficiência hídrica do que as espécies perenes. Isso justifica os cuidados que devem ser empregados nas plantas sensíveis ao deficit hídrico quanto à manutenção das condições ótimas de água no solo ao longo de todo o ciclo produtivo, evitando-se mesmo pequenos períodos de deficiência, pois podem refletir não somente em decréscimo do crescimento vegetal e da produtividade, mas também da qualidade do produto.

Embora o manejo de água usualmente envolva a manutenção de elevados potenciais da água dos vegetais mediante um apropriado manejo de irrigação, o deficit de irrigação em fruteiras ou o uso de elevados índices de salinidade na água de irrigação do tomate (HO, 1988) podem favorecer o aumento da qualidade de frutos pelo aumento da porcentagem de matéria seca e conteúdo de açúcares (JONES; TARDIEU, 1998). O deficit hídrico também pode ser utilizado para o

manejo de florações em fruteiras, nesse caso, ele induz o florescimento, prática muito comum na cultura da lima ácida ‘Tahiti’ nas condições semiáridas do Nordeste. Para a cultura da manga, a deficiência hídrica é um artifício utilizado em conjunto com a aplicação de reguladores de crescimento no repouso da planta, auxiliando a maturação dos ramos, ou, isoladamente, em condições semiáridas (FONSECA, 2002), substituindo totalmente os reguladores de crescimento.

Em plantas perenes, tendo como exemplo muitas fruteiras tropicais, os pequenos períodos de deficiência podem não resultar em perdas de produtividade e qualidade, haja vista os resultados de estudos envolvendo a regulação do deficit de irrigação em citros (DOMINGO et al., 1996; GONZÁLEZ-ALTOZANO; CASTEL, 1999). É possível a manutenção da produtividade e qualidade, aplicando uma deficiência regulada de água em fases de frutificação menos sensíveis à deficiência, mantendo os níveis de produtividade e qualidade compatíveis com os tratamentos irrigados em todas as fases, com redução de até 30% do volume total de irrigação, e dependendo do regime de chuvas ao longo do desenvolvimento dos frutos.

É importante uma análise diferenciada do estresse por falta de água nos diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento das plantas. Por exemplo, um vegetal apresenta sua maior tolerância ao deficit hídrico ainda na forma de semente, quando sua umidade é extremamente reduzida em relação a vegetais em crescimento e a sua hidratação é o ponto de partida para a continuação do ciclo da planta. O efeito da falta de água é notável na fase de plântula, quando a existência de um sistema radicular pouco desenvolvido não permite a sobrevivência em deficiência prolongada, e principalmente nas fases reprodutivas, por causa das perdas na produtividade do vegetal. A maior parte da produção agrícola é de órgãos reprodutivos, como grãos, frutas e olerícolas, e sua produtividade pode ser afetada pela falta de água nesse período (PIMENTEL, 1998).

Salienta-se que existem vários mecanismos fisiológicos que conferem à planta maior ou menor capacidade de tolerar a seca, como a estrutura anatômica das folhas, o total foliar, a distribuição e a profundidade do sistema radicular e a própria relação entre sistema radicular e área foliar. De maneira simplista, ao comparar as plantas arbóreas com as herbáceas de ciclo anual, destaca-se que estas exploram um menor volume de solo em razão do pequeno desenvolvimento radicular em profundidade, por isso sofrem, com maior intensidade, os efeitos do deficit hídrico.

Relações da água no sistema solo-planta-atmosfera

O manejo da água na agricultura exige um bom entendimento das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera (SSPA), que engloba a caracterização dos processos que envolvem a água em equilíbrio e em movimento em todo o SSPA, constituindo-se de uma vasta área de conhecimento, porque os componentes solo, planta e atmosfera são estruturalmente bastante diferenciados entre si, com diversas formas de interação com a água. O entendimento de que o transporte de água deve ser estudado de uma forma global no SSPA ganhou ênfase nos anos 1960, quando físicos de solo e fisiologistas entenderam que esse transporte envolve um contínuo líquido e que ele depende inclusive das inter-relações entre os diferentes componentes. Já, nas décadas de 1930 e 1940, haviam sido lançadas ideias de se trabalhar com o sistema de forma integrada, as quais levaram Honert (1948) a propor um modelo em analogia com a Lei de Ohm de circuito elétrico, no qual o fluxo de água ocorre em equilíbrio dinâmico desde o solo até a atmosfera, sendo

originado por diferenças de potenciais da água e dependente de resistências ao transporte em cada parte do sistema:

$$F = T = \frac{\Psi_{sr} - \Psi_{s}}{r_s} = \frac{\Psi_{ix} - \Psi_{sr}}{r_r} = \frac{\Psi_{fx} - \Psi_{ix}}{r_x} = \frac{\Psi_{se} - \Psi_{fx}}{r_f} = \frac{\Psi_{ar} - \Psi_{se}}{r_g} \quad (1)$$

em que F é o fluxo de água em equilíbrio dinâmico em todo o sistema, portanto equivalente ao fluxo de vapor perdido no processo da transpiração T; ψ_s, ψ_{sr}, ψ_{ix}, ψ_{fx}, ψ_{se}, ψ_{ar} são, respectivamente, os potenciais da água do solo, do sistema radicular, dos pontos inicial e final do xilema, dos sítios de evaporação e do ar e r_s, r_r, r_x, r_f , r_g são, respectivamente, as resistências impostas ao fluxo pelo solo, pela raiz, pelo xilema, pela folha e pela fase gasosa.

Esse modelo, apesar de suas supersimplificações (ANGELOCCI, 2002), que o tornam mais um modelo didático primário do que aplicável na maioria das condições encontradas na prática, contribuiu para a consolidação do conceito de continuidade dos SSPAs e das noções bastante usadas atualmente, como as de resistências ao transporte e de potencial da água. O estudo das relações hídricas no SSPA é muito mais abrangente do que propõe um modelo desse tipo, mesmo porque muitas vezes o interesse específico concentra-se em estudos das relações hídricas nos níveis celular, de tecido ou de órgãos. Principalmente na planta, os processos envolvendo tanto água em equilíbrio como em movimento são peculiares à escala de estudo (célula, tecido e órgãos) e aos fatores atuantes nessa escala, de natureza biológica e física. Uma série de variáveis acaba sendo necessária nesses estudos e muitas vezes é característica da parte ou partes do SSPA de interesse. Nos itens seguintes, vários desses aspectos que interessam à irrigação serão discutidos, separando-se aqueles do solo ou da planta ou estudando-se as inter-relações deles, isoladas ou em conjunto, com a atmosfera.

Entre as variáveis usadas, aquelas caracterizadoras das condições hídricas de cada componente do SSPA são as fundamentais. Normalmente, elas envolvem a quantidade e o potencial da água. Este último tem sido muito usado após a proposta de sua adoção nos estudos de relações hídricas feitas por Gardner (1960) e Slatyer (1958), baseada nas justificativas de ser uma variável originária de um tratamento puramente físico, de ser aplicável em qualquer parte do sistema e de explicar os fluxos de água no SSPA, apesar das críticas feitas por Sinclair e Ludlow (1985). Por sua importância e aplicação generalizada nas relações hídricas no SSPA, suas bases físicas serão tratadas no próximo item. Sua aplicação específica às partes do SSPA será discutida nos itens pertinentes.

O conceito de potencial químico da água

O potencial químico de uma substância é definido com base na energia livre para realizar trabalho líquido, empregando-se a termodinâmica de processos reversíveis. A energia livre de Gibbs (G) é a função termodinâmica apropriada no caso, conforme discutido por Angelocci (2002).

O potencial químico da água (μ_a) representa a variação da energia livre de Gibbs em razão da variação do número de moles de água (n_a), em um sistema mantido à temperatura, pressão e outros constituintes constantes, de modo que:

$$\mu_a = \left(\frac{\partial G}{\partial n_a} \right)_{T,P,ni} \quad (2)$$

sendo expresso em energia livre por mol (J mol^{-1}) no Sistema Internacional de Unidades (SI).

O valor absoluto do potencial da água é de difícil determinação, adotando-se um valor referencial (μ^0_a), de forma que o potencial ψ fica definido como:

$$\psi = \mu_a - \mu^0_a \quad (3)$$

O valor de μ^0_a é definido como aquele da água pura e plana à temperatura e pressão atmosférica de um ponto em determinado referencial de posição (JONES, 1992; KOIDE et al., 1989). Dessa forma, o valor de ψ é zero quando num estado de água livre, plana e pura e decresce, assumindo valores negativos, quando ocorre a redução da energia livre da água em relação ao estado padrão.

O potencial da água pode ser expresso também em energia por unidade de massa de água (J kg^{-1}), ou seja:

$$\psi = \frac{\mu_a - \mu_a^0}{M_a} \quad (4)$$

É comum expressá-lo também por unidade de volume molar da água ($\overline{V}a$ = 18,05 x 10^{-6} m^3 mol^{-1} a 20 °C):

$$\psi = \frac{\mu_a - \mu_a^0}{\overline{V}_a} \quad (5)$$

Essa relação equivale à grandeza física pressão P, pois:

$$P = \frac{E \times mol^{-1}}{V_a \times mol^{-1}} = \frac{E}{V_a} = \frac{E}{\rho \times g \times H} = \frac{E}{\rho \times M} = \frac{\psi}{\rho} \left(J \times m^{-3} = N \times m \times m^{-3} = Pa\right) \quad (6)$$

em que ρ é a densidade da água (1.000 kg m^{-3}). Como 1 Pa representa uma unidade de pequena grandeza, considerando-se os valores encontrados no SSPA, normalmente são utilizados os seus múltiplos (hPa, kPa, MPa) ou em atm.

Uma última forma de expressá-lo por unidade de força-peso:

$$\psi = \frac{\mu_a - \mu_a^0}{\overline{V}_a} = \frac{energia \times mol^{-1}}{força\text{-}peso \times mol^{-1}} = \frac{m \times g \times H}{m \times g} = H \quad (7)$$

em que m é a massa de água, g a aceleração da gravidade (9,81 ms^{-2}) e H a altura da coluna de água, ou seja, ele é expresso em metros de coluna de água (mca).

As relações entre grandezas de expressão de ψ são:

1 atm = 1,013 bar = 10,33 mca = 101.300 Pa = 101,3 kPa = 0,1013 MPa

Embora o potencial químico da água seja definido para condições constantes de temperatura, pressão e referencial de posição no campo gravitacional, o potencial total da água num sistema é afetado pela variação dessas grandezas, pela presença de solutos (efeito osmótico) e constituintes do sistema com os quais a água interage e pelos efeitos capilares, que diminuem a energia da água (efeito matricial, de maneira que o potencial total da água ψ é expresso por uma soma dos componentes parciais):

$$\psi = \psi_T + \psi_P + \psi_S + \psi_\tau + \psi_g \quad (8)$$

em que os subscritos referem-se aos componentes (e respectivos efeitos) de temperatura, pressão, solutos, matricial e gravitacional. A importância de cada termo e o seu significado no solo e na planta serão discutidos nos itens específicos.

A água no solo

Caracterização quantitativa: umidade e potencial da água

O solo é composto pelas frações sólida, gasosa e líquida, sendo comum a utilização do termo solo apenas para a sua parte sólida ou matriz. O termo água do solo é comumente utilizado para referir-se à solução do solo, em que as substâncias minerais e orgânicas se encontram dissolvidas na água, ou seja, a água é um dos seus componentes. Neste texto, o termo será usado sem distinção dos componentes água e solutos e será dada ênfase à condição de solo não saturado por ser essa a mais frequente nos sistemas de produção agrícola.

A quantidade de água no solo é comumente expressa por sua umidade, que se refere à massa (m_{ag}) ou ao volume (V_{ag}) de água por unidade de massa (m_s), ou ao volume (V_s) de solo seco:

$$U = \frac{m_{ag}}{m_S} = \frac{m_{atual} - m_s}{m_S} \quad (9)$$

$$\theta = \frac{v_{ag}}{V_S} = \frac{V_{atual} - V_S}{V_S} \quad (10)$$

A umidade (U) é expressa em kg de água por kg de solo seco e θ em m^3 de água por m^3 de solo seco, podendo também ser expressas em valores porcentuais.

A relação entre elas é dada por:

$$\theta = U \times d_g \quad (11)$$

em que d_g é a densidade global do solo seco (kg m^{-3}).

Os valores específicos de conteúdo de água que permitem a caracterização físico-hídrica de um solo são a umidade de saturação (U_s ou θ_s) e a umidade no ponto de capacidade de campo (U_{cc} ou θ_{cc}), no qual cessa a drenagem da água livre (água gravitacional) e se inicia a faixa de valores correspondentes à água retida no solo.

A água é retida à matriz do solo por meio das forças capilares e de adsorção. As forças capilares ocorrem nos microporos e estão associadas a uma interface água-ar, em que as moléculas de água são retidas por forças de coesão entre elas, maiores e contrárias às forças que as atraem para a fase gasosa. Isso gera a tensão superficial da água. As forças de adsorção podem ser representadas pelas forças de London-van der Waals entre as moléculas de água e a superfície sólida. A natureza bipolar das moléculas de água faz que elas sejam atraídas pelas cargas negativas presentes na superfície do solo. Assim, as forças capilares e de adsorção formam a força matricial, com a qual o solo retém a água, que interfere nos movimentos ascendente (evaporação, absorção pelas raízes e, indiretamente, transpiração) e descendente (distribuição e drenagem).

Logo após o final da drenagem de um solo saturado (poros cheios de água), as forças capilares tornam-se dominantes; no entanto, à medida que o solo seca, as forças de adsorção passam a predominar na retenção de água pelo solo.

A solução do solo apresenta solutos dissolvidos, o que torna a energia potencial ou energia livre dessa solução menor que a da água pura e livre. Como a energia cinética da solução do solo é desprezível, o seu estado de energia pode ser representado pela sua energia potencial e dividida a energia potencial por unidade de massa de água M, ou seja, o seu potencial ψ expresso pela equação 4.

O transporte da água no solo ocorre como resultado das diferenças desses potenciais, então, somente os componentes do potencial que

variam com a posição do solo devem ser levados em consideração. Assim, o potencial total da água do solo (ψ_t) pode ser representado pela soma de seus componentes:

$$\psi_t = \psi_p + \psi_g + \psi_o \quad \text{e} \quad \psi_p = \psi_m + \psi_a \tag{12}$$

em que os índices p, g, o, m e a representam, respectivamente, os componentes pressão, gravitacional, osmótico, matricial e pneumático.

O potencial de pressão (ψ_p) é decorrente da diferença da pressão da fase gasosa da água do solo para a pressão atmosférica, considerada como referência, e é geralmente julgado desprezível em solos insaturados, o que torna $\psi_m = \psi_a$. O potencial osmótico (ψ_o) representa os efeitos dos íons na água do solo e deve ser levado em consideração na absorção pelas raízes e no transporte de água na forma gasosa. Quando os íons se movimentam livremente dissolvidos no componente água, o ψ_o é considerado o mesmo em qualquer ponto do solo, tornando-se desprezível. Dessa forma, o transporte da água do solo insaturado pode ser considerado, dependendo do chamado potencial hidráulico (ψ_H), que representa a soma dos potenciais matricial e gravitacional:

$$\psi_H = \psi_m + \psi_g \tag{13}$$

Para as medidas realizadas com tensiômetros, é desejável utilizar unidades equivalentes de potenciais da água do solo, definidas como a carga hidráulica ou a altura de coluna de água, conforme a equação 6.

Assim, para qualquer ponto no sistema solo, o potencial gravitacional (ψ_g) é equivalente à altura z na superfície do solo, arbitrariamente adotada como referencial, ou seja, $\psi_g = z = 0$ na superfície e $\psi_g = z$ na profundidade do solo considerada. O potencial de pressão (ψ_p) é igual à altura acima de um determinado ponto, a uma profundidade z, em um solo em equilíbrio hidrostático com a superfície de água livre (solo saturado). Em um solo saturado, ψ_g e ψ_p são negativos, pois adotam-se valores

negativos e positivos para valores abaixo e acima do nível de referência (superfície do solo).

Na ocasião do uso de tensiômetros com sensores digitais, pode ser conveniente utilizar a unidade equivalente do potencial da água obtida pela relação entre a energia potencial e a unidade de volume (V, m^3), que equivale à grandeza física pressão (equação 6).

Mais detalhes sobre potenciais da água no solo podem ser obtidos em Dirksen (1999), Kutilek e Nielsen (1994), Libardi (1995) e Reichardt (1996).

Fluxo de água no solo

O regime de escoamento de água no meio poroso pode ser caracterizado quanto: a) à estabilidade ou constância do fluxo, isto é, pelo regime permanente, no qual a variação do fluxo é nula com o tempo, e pelo regime variável, quando ocorrem mudanças do fluxo com o tempo; b) às condições de saturação, que podem ser saturadas e não saturadas, do meio no qual ocorre o regime de fluxo; c) à geometria do fluxo no meio, que está diretamente ligada ao sistema de irrigação.

As condições mais comumente encontradas nas regiões irrigadas são as de fluxo não saturado, em que os gradientes de potencial total da água do solo são relativos aos componentes de potencial matricial (tensão de água do solo) e à condutividade hidráulica do solo não saturada.

A equação de Darcy, concebida para uso em condição saturada, foi modificada por Buckingham (1907), citado por Or e Wraith (1997), para as condições de fluxo não saturado, e expressa o fluxo de água no meio poroso, segundo a equação:

$$J_w = -K(h)\frac{\partial H}{\partial z} = -K(h)\left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1\right) \quad (14)$$

em que J_w é a densidade de fluxo de água (m^3 m^{-2} s^{-1}), $K(h)$ a condutividade hidráulica não saturada (m s^{-1}), H o potencial total, h o potencial matricial e z o potencial gravitacional ou de posição.

A condutividade hidráulica $K(h)$ ou $K(\theta)$ pode ser definida como a capacidade que um solo tem de transmitir a água em seu interior. Assim, quando o solo se apresenta saturado (todos os poros cheios de água), o valor de K é máximo; à medida que θ se reduz, menor será o valor de K. Desse modo, o principal fator de redução do fluxo de drenagem é K, e não o gradiente do potencial hidráulico. O sinal negativo da equação de Darcy indica o fluxo de água, que atua sempre no sentido contrário ao do gradiente hidráulico, ou seja, do maior potencial (maior valor de umidade) para o menor potencial (menor valor de umidade), na tendência de estabelecer o equilíbrio do sistema solo-água. Em condições de irrigação por aspersão ou localizada, os gradientes de potencial são devidos principalmente a componente do potencial gravitacional, uma vez que não ocorre formação de lâmina d'água na superfície do solo, ou se ocorre, é insignificante.

Infiltração da água no solo

Uma vez aplicada ao solo via irrigação, a água infiltrará e passará por um processo de redistribuição, movimentando-se em direções e sentidos diversos, tendendo a equilibrar as diferenças de potenciais existentes, sendo esses movimentos resultantes das forças matriciais e gravitacionais. Parte dessa água movimentar-se-á no sentido vertical para cima, em resposta à diferença de potencial com a atmosfera, ou percolará pela predominância de forças gravitacionais, e parte será simultaneamente absorvida pelo sistema radicular.

A infiltração nas condições de fluxo unidimensional predominante, como é o caso da irrigação por aspersão, pode ser representada pela equação empírica de Lewis-Kostiakov:

$$I = kt^{a};\ i = \frac{dI}{dt} = a \times k \times t^{a\text{-}1} \quad (15)$$

em que I é a infiltração acumulada, t o tempo decorrido desde o início do processo, a e k são parâmetros empíricos e $i = dI/dt$ é a taxa de infiltração. Essa equação não leva em conta a umidade inicial do solo e requer a inclusão de outro parâmetro (f_0) para representar a infiltração durante longo período de tempo, cuja infiltração acumulada fica da forma $I = kt^{a} + tf_0$ e a velocidade de infiltração fica

$i = akt^{a-1} + f_0$.

A infiltração por irrigação pode ser representada matematicamente pela equação de Green-Ampt a partir de uma transformação da equação de Darcy, considerando-se ji o potencial matricial inicial do solo, L o comprimento da frente de umidade, d a lâmina de água sobre a superfície do solo, he a porosidade efetiva do solo ou a porosidade disponível para ser preenchida com água. Assume-se uma frente de umidade abrupta, com o solo saturado em busca da frente de umidade e sem presença de ar preso nos poros dele. Assim, a partir da conservação da massa e da equação de Darcy, pode-se obter uma forma da equação de Green-Ampt:

$$I = K_s\left(1\text{-}\frac{\Psi_i \times \eta e}{100i}\right) \quad (16)$$

A equação é de caráter físico e, portanto, tem uma grande vantagem para poder predizer a grandeza. A forma da curva de infiltração de água de um solo ajuda a explicar fisicamente a infiltração, por exemplo, quanto maior o valor de I, menor será o valor de i. Contudo, apresenta desvantagens no que se refere à calibração dos parâmetros e uso em solos estratificados.

A infiltração no caso da irrigação localizada não é unidimensional, mas multidimensional, quando a água infiltra em diferentes direções no solo. A representação matemática da infiltração nesse caso torna-se mais difícil.

Uma solução aproximada, considerando-se infiltração constante foi proposta por Wooding (1968):

$$i_f = K_s + \frac{4K_s}{\pi \times r_s \times \beta} \quad (17)$$

em que K_s é a condutividade hidráulica saturada e r_s o raio da poça de água formada abaixo do emissor, β é dado por:

$$\beta = \frac{(\theta_f - \theta_i)K_s}{b \times S^2} \quad (18)$$

sendo θ_f a umidade média do solo no final do teste de infiltração, quando a velocidade de infiltração se mantém constante, θ_i a umidade do solo antes de a infiltração ocorrer, b um parâmetro de forma, podendo ser adotado o valor de 0,55, e S obtido da declividade da equação de Philip, $I = St^{1/2}$, válida para o início do processo de infiltração.

Distribuição de água no solo sob irrigação

Nas condições de irrigação por aspersão, o movimento de água no perfil do solo ocorre predominantemente na direção vertical, sendo seu sentido descendente durante o processo de infiltração, isto é, durante a irrigação é ascendente em razão dos gradientes de potencial resultantes da evaporação do solo e da transpiração das plantas. A equação que pode representar os processos de infiltração, redistribuição e evaporação é do tipo:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)\frac{\partial H}{\partial z}\right] \quad (19)$$

em que $K(\theta)$ indica condutividade hidráulica não saturada, H potencial total de água no solo e $H = h + z$, sendo h o potencial matricial e z o potencial gravitacional.

Essa equação indica que qualquer mudança no teor de água, com o tempo, equivale a uma variação no fluxo vertical de água $\partial q/\partial z$.

Na irrigação localizada, a distribuição de água ocorre a partir da fonte ou do emissor, difundindo-se em todas as direções no solo. Se os emissores estão distanciados de forma a não haver sobreposição dos bulbos ou volumes molhados, tem-se uma situação de ponto fonte. No caso de os emissores serem distanciados de forma a haver sobreposição dos volumes molhados, tem-se uma situação de linha fonte, que é muito comum em irrigação por gotejamento. No primeiro caso, a representação do fluxo de água no solo é feita considerando-se um emissor (ponto fonte) sobre um elemento cilíndrico de solo, de raio r, em que o eixo vertical Z do cilindro passa no emissor, sendo o solo uniforme, com simetria radial de distribuição de água a partir do emissor. A equação do fluxo de água em coordenadas cilíndricas será:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r}\left[K(\theta)\frac{\partial h}{\partial r}\right] + \frac{K(\theta)}{r}\frac{\partial h}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)\frac{\partial H}{\partial z}\right] \quad (20)$$

em que a primeira parcela do lado direito da equação representa a componente do fluxo na direção radial e a segunda parcela representa a componente do fluxo na direção vertical. No caso da linha fonte, considera-se uniforme a distribuição de água no sentido da linha de emissores, sendo a variação predominante do fluxo de água no plano transversal à direção da linha de emissores, onde se aplicam as coordenadas retangulares, sendo x a distância do emissor e z a profundidade em relação à superfície do solo. A equação do fluxo de água no solo fica desta forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[K(\theta)\frac{\partial h}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)\frac{\partial H}{\partial z}\right] \quad (21)$$

As formas generalizadas dessas equações, incluindo a extração de água pelo sistema radicular das culturas, provêm de uma conotação mais realista ao uso desses modelos matemáticos de representação da dinâmica de água no solo.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \left[K(\theta) \nabla H \right] - S \qquad (22)$$

sendo ∇ o operador gradiente e S a extração de água do solo pelo sistema radicular, que equivale à transpiração das plantas. Nessas equações, o efeito da evaporação é praticamente desprezível, uma vez que ela é, em geral, inferior à condutividade hidráulica saturada do solo (1 mm h^{-1} a 10 mm h^{-1}). As equações diferenciais citadas, derivadas da equação de Richards, podem ser solucionadas de forma analítica ou numérica.

Soluções analíticas de escoamento da água no solo

As soluções analíticas apresentam a vantagem de serem diretas, isto é, entra-se com os parâmetros das equações e obtêm-se automaticamente os resultados, com um número de parâmetros de entrada das equações pequeno. No caso da irrigação localizada, a distribuição de água no volume molhado gerado pelo gotejamento pode ser obtida considerando-se tanto o escoamento permanente, como o escoamento variável no solo. O escoamento permanente corresponderia, em termos práticos, a uma condição de predominância do processo de infiltração, durante e entre irrigações, em relação à redistribuição, evaporação e extração de água (BRESLER, 1978). No caso de escoamento permanente ($\partial\theta/\partial t = 0$), podem-se obter soluções das equações citadas. Mas, em condições de campo, em condições de irrigação diária ou de menor frequência, o

escoamento de água no solo é variável, conforme mostrado por Coelho e Or (1996) em razão, principalmente, da atividade do sistema radicular.

A equação multidimensional de Richards, que governa o fluxo não saturado no meio poroso, pode ser linearizada usando a transformação de Kirchoff (Φ), apresentada por Philip (1971):

$$\phi = \int_{-\infty}^{h} K(h)dh = \frac{K(h)}{\alpha} \quad (23)$$

em que $K(h)$ é a condutividade hidráulica não saturada (LT^{-1}) e α a constante característica do solo (L^{-1}). A condutividade hidráulica não saturada $K(h)$ pode ser obtida pelo modelo exponencial proposto por Gardner (1958):

$$K(h) = K_S \, x \, e^{\alpha h} \quad (24)$$

sendo K_S a condutividade hidráulica saturada e α o parâmetro relacionado à sorptividade do meio poroso e representa a taxa de redução na condutividade hidráulica com a redução do potencial matricial (L^{-1}). Warrick (1974) usou as equações 23 e 24 associadas à condição $dK/d\theta = k$, sendo k constante para linearizar a equação da continuidade ou de Richards em termo de Φ:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{k}{\alpha}\nabla^2\phi - k\frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (25)$$

em que k pode ser obtido conforme metodologias sugeridas por Ben-Asher et al. (1978).

Warrick (1974) introduziu as variáveis adimensionais $R = \alpha r/2$, $Z = \alpha z/2$, $T = \alpha kt/4$, $\rho = (R2+Z2)^{1/2}$ e $\Phi = 8\Phi\pi/\alpha q$ para solucionar a equação 25 analiticamente sujeita à condição inicial $\Phi(r, z, 0) = 0$ e à condição de contorno $(\partial\Phi/\partial z)+\partial\Phi = 0$ em z = 0, $r \neq 0$. A solução, considerando-se ponto fonte abaixo da superfície do solo (exemplo: gotejador enterrado), pode ser dada por:

$$\Phi_B(R,Z,T) = \frac{e^Z}{2\rho}\left\{e^{\rho} erf\left(\frac{\rho}{2\sqrt{T}} + \sqrt{T}\right) + e^{-\rho} erf\left(\frac{\rho}{2\sqrt{T}} - \sqrt{T}\right)\right\} \quad (26)$$

e a solução, considerando-se ponto fonte à superfície do solo:

$$\Phi(R,Z,T) = 2\left\{\Phi_B - e^{2Z}\int_Z^{\infty} e^{-2Z'}\left[\Phi_B\right]_{Z=Z'} dZ\right\} \quad (27)$$

em que a integral da equação 27 pode ser resolvida usando-se a fórmula de 15 pontos de Gauss-Leguerre, com $Z' = Z + x/2$ (SEN et al., 1992), sendo a solução dada pela expressão:

$$\int_Z^{\infty} e^{-2Z'}\left[\Phi_B\right]_{Z=Z'} dZ' = e^{-2Z}\int_0^{\infty} e^{-x}\left[\Phi_B\right]_{Z'=Z+\frac{x}{2}} \frac{dx}{2} = \frac{1}{2} e^{-2Z} \sum_{i=0}^{x} \omega_i \left[\Phi_B\right]_{Z'=Z+\frac{x}{2}} \quad (28)$$

em que ω_i, que representa um fator de ponderação (peso) em cada ponto de Gauss-Leguerre (x), pode ser determinado conforme Carnahan et al. (1969).

A distribuição de $\Phi(r, z, t)$ ao longo do tempo, simulando-se infiltração e redistribuição de água durante e após a irrigação, pode ser obtida da superposição das soluções apresentadas, uma vez que são lineares, gerando a seguinte expressão:

$$\phi(R,Z,T) = \frac{\alpha}{8\pi}\sum_{i=0}^{n}(q_i - q_{i-1})\Phi(R,Z,T - T_i) \quad (29)$$

sendo $q_{i-1} = 0$, $T_0 = 0$ e $T > T_n$.

No caso de emissão de água em linha (linha fonte) enterrada, Lomen e Warrick (1974) obtiveram a seguinte solução para a equação 29:

$$\Phi_B(X,Z,T) = \frac{e^Z}{2}\int_0^T \xi^{-1} exp\left[-\xi - (X^2 + Z^2)/4\xi\right] d\xi \quad (30)$$

em que $X = \alpha x/2$, $\Phi = q\Phi_B/2\pi$ e ξ é uma variável auxiliar que representa o tempo adimensional. A solução da integral da equação 30 pode ser obtida usando-se a fórmula de Gauss-Legendre cinco pontos:

$$\int_0^T \xi^{-1} exp\left[-\xi - (X^2 + Z^2)/4\xi\right] d\xi = \frac{T}{2} \sum_{i=0}^{4} w_i f\left(\frac{z_i T + T}{2}\right) \quad (31)$$

em que w_i e z_i são apresentados conforme Carnahan et al. (1969).

Tendo as soluções para distribuição de f num plano bidimensional, o valor do potencial matricial numa certa posição h (r, z, t) do bulbo molhado pode ser determinado usando-se a transformação:

$$h(r,z,t) = \frac{1}{\alpha} ln\left[\frac{\alpha \times \phi(r,z,t)}{K_S}\right] \quad (32)$$

O valor da umidade θ (r, z, t) pode ser obtido usando-se h (r, z, t) em qualquer modelo de retenção de umidade disponível, como o de Genuchten (1980). O único problema em se usar o modelo de Genuchten (1980) no caso é que o valor de α ajustado pode ser diferente do valor usado nas equações anteriores. Assim, recomenda-se numa primeira instância usar o modelo de Russo (1988) abaixo para manter consistência nos valores de α:

$$\theta = [e^{0,5\alpha h} (1 - 0,5\alpha \times h)]^{0,8} (\theta_s - \theta_r) + \theta_r \quad (33)$$

Dessa forma, a distribuição de água no bulbo molhado pode ser determinada tanto durante o processo de infiltração decorrente da aplicação de água pelo emissor, como durante a fase de redistribuição de água entre o fim de uma irrigação e o início da próxima.

Soluções numéricas de escoamento da água no solo

A não linearidade da equação de Richards deve-se principalmente à dependência da condutividade hidráulica da umidade ou do potencial de água do solo. A solução numérica torna-se assim mais realista, apesar do caráter mais complexo que as soluções analíticas.

Os métodos numéricos mais usados para desenvolvimento e solução dessas equações diferenciais de fluxo de água no solo são os da diferença finita e do elemento finito. Para qualquer método usado, três etapas são necessárias: a) discretização do domínio do fluxo; b) discretização das equações diferenciais parciais em uma série de diferenças ou integrações aproximadas, uma para cada ponto espacial dentro da malha de pontos gerada; c) formulação do problema em código computacional de forma a promover a solução simultânea de todas as equações em todos os pontos do domínio de fluxo, em sucessivos intervalos de tempo (OR; WRAIT, 1997). A solução das equações diferenciais, tanto para fluxo unidimensional como para fluxo bidimensional, tem sido encontrada usando-se diferença finita (BRANDT et al., 1971; LAFOLIE et al., 1989) e também elemento finito (SIMUNEK et al., 1993; TAGHAVI et al., 1984). O uso do elemento finito tem sido preferido principalmente em caso de fluxo multidimensional, em meio heterogêneo com fronteiras ou bordas irregulares. Avaliações dos métodos numéricos têm sido feitas em laboratório e em campo (RUSSO, 1975) com desempenho satisfatório.

Estimativa do volume molhado do solo sob irrigação localizada

A definição dos padrões de distribuição de água pelos emissores em irrigação localizada constitui-se em importante informação para projetos de irrigação, principalmente na definição do espaçamento entre

emissores. O uso de métodos analíticos ou numéricos para avaliação de distribuição de água no solo não é de fácil acesso aos usuários, que muitas vezes não dispõem das informações necessárias para execução desses processos. A disponibilidade de métodos que permitam uma visão global do volume molhado facilita ao usuário a aplicação dessas informações na elaboração de projeto de irrigação e no manejo da irrigação em si.

A maneira mais simples de tratar o volume molhado do solo irrigado por gotejamento é por meio de uma semiesfera, cujo raio, a partir do início da irrigação, pode ser representado pela seguinte equação:

$$r(t) = \left[\frac{3q \times t}{2\,\pi\,\Delta\theta} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (34)$$

em que q é a vazão do emissor ($L^3\ T^{-1}$), t o tempo de irrigação (T) e $\Delta\theta$ a variação da umidade média dentro do volume molhado. A validade dessa equação está condicionada a solos argilosos, inicialmente secos, nos períodos iniciais da irrigação. À medida que o tempo de irrigação transcorre, o efeito da gravidade tende a mudar a forma do bulbo molhado, de esférica para semielipse.

Schwartzman e Zur (1985) propuseram as seguintes equações para estimativa da profundidade (z), diâmetro (d) e volume do solo molhado (V) com condutividade hidráulica saturada K_s durante a irrigação, a partir de um gotejador superficial de vazão q:

$$z = 2{,}54\,V^{0{,}63} \left(\frac{K_s}{q} \right)^{0{,}45} \quad (35)$$

(36)

$$d = 1{,}82\,V^{0{,}22}\left(\frac{K_s}{q}\right)^{-0{,}17}$$

$$d = 1{,}32\,z^{0{,}35}\left(\frac{q}{K_s}\right)^{0{,}33} \approx 1{,}32\left(\frac{z \times q}{K_s}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (37)$$

em que as variáveis envolvidas devem ter unidades coerentes, como d e z em metro, q em $m^3\ s^{-1}$, K_s em m s^{-1} e V em m^3.

Outras equações têm sido propostas para estimativa das dimensões do volume molhado com maior ou menor facilidade de uso. Entre essas proposições, pode-se citar a equação generalizada da forma do volume molhado citada por Healy e Warrick (1988), que usa coeficientes empíricos resultantes de solução numérica da forma adimensional da equação de Richards. Risse e Chesness (1989) também propuseram um método de estimar o raio do volume molhado do solo resultante de um gotejador superficial, a partir do conhecimento da textura do solo, da vazão do emissor e da redução do potencial de água do solo.

Distribuição radicular e absorção da água do solo

A distribuição de raízes de espécies frutíferas varia de acordo com a origem da muda, tipo de solo e manejo da cultura. Assim, plantas oriundas de sementes apresentam uma raiz pivotante, enquanto as propagadas assexuadamente apresentam um sistema radicular fasciculado, com maior distribuição de raízes laterais (CARVALHO, 2002). Espécies olerícolas transplantadas com torrão permitem a formação de um sistema radicular mais estreito e profundo, quando comparadas às plantas originadas de transplante de raiz nua, que possibilitam a formação de um sistema radicular mais raso, fibroso e mais largo (SALLES, 2002). A profundidade, textura, estrutura, pH, condutividade elétrica e disponibilidade de nutrientes influenciam a distribuição das raízes no solo.

Desde que as raízes estejam na mesma porção do solo onde se encontram os nutrientes, pode ocorrer a interceptação radicular que contribui para o processo de absorção. Ressalte-se também que a umidade do solo desempenha um papel importante na absorção de nutrientes, pela forte dependência do fluxo de massa e da difusão da umidade do solo e pelo fato de as raízes crescerem e proliferarem em maior densidade em condições adequadas de nutrientes e umidade para cada espécie.

Para a prática da fertirrigação, essas informações são importantes, pois, conhecendo a umidade do solo nas diversas profundidades e a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura em questão, pode-se monitorar a frente de molhamento de uma fertirrigação em diversas profundidades do solo. Isso pode ser feito instalando-se tensiômetros em diversas profundidades dentro da profundidade efetiva do sistema radicular (80% da sua profundidade total). O fracionamento da aplicação de água e nutrientes pode ser feito levando-se em consideração a textura do solo, visando proporcionar um maior umedecimento da zona radicular e minimizar a lixiviação de nutrientes para as camadas mais profundas do solo. A Tabela 1 mostra a profundidade efetiva das raízes de algumas fruteiras e olerícolas.

Tabela 1. Profundidade do sistema radicular de algumas espécies frutíferas e olerícolas irrigadas.

Cultura	Sistema de irrigação	Espaçamento (plantas x linhas) (m)	Solo[1]	Profundidade efetiva das raízes (m)	Distância horizontal das raízes (m)
Abacateiro[2]	-	8 x 9	AVA	1,50	1,50
Aceroleira[3]	-	2 x 4	LR distrófico	0,50 a 0,70	0,75
Aspargo[4]	Aspersão convencional	2,3 x 0,4	LVA textura média	0,60	0,60
Bananeira[5]	Microaspersão	3 x 3	LVA textura média	0,60	0,60
Citrus[6], [7]	Microaspersão	7 x 8	TER	0,60	2,00
	Microaspersão	5 x 7	LVA textura arenosa	0,60	2,00

Cultura	Sistema de irrigação	Espaçamento (plantas x linhas) (m)	Solo[1]	Profundidade efetiva das raízes (m)	Distância horizontal das raízes (m)
Coqueiro[8], [9]	-	-	AQ distrófica	0,60	1,50
	Microaspersão	7,5 x 7,5	NQ	0,60	2,40
Goiabeira[10]	Microaspersão	5 x 6	LVA textura média	0,80	0,80
Mamoeiro[11]	Gotejamento	-	Textura franco-argilo-arenosa	0,45	0,60
	Gotejamento enterrado	-		0,25	0,45
	Microaspersão	-		0,35	0,80
Mangueira[12], [13], [14]	Gotejamento	5 x 8	LVA textura média	0,90	1,60
	Microaspersão	7 x 9	LVA textura arenosa	0,60	2,00
	Microaspersão	10 x 10	TER	0,80	2,50
Maracujazeiro[15]	Gotejamento	3,5 x 4	TER	0,40	-
Melancieira[16]	-	0,8 x 3,5	LVA	0,25	-
Pupunha[17], [18]	Sulco	1 x 2	LVA textura média, Vertissolo	0,40	0,80
	Gotejamento	1 x 2		0,40	1,00
Tamareira[19]	Sulco	4 x 5	LVA textura média	0,80	-
Tomateiro[20]	-	0,35	LVA	0,35	-
Videira[21], [22]	Gotejamento e microaspersão	2 x 4	LVA textura média	0,40	0,60
	Microaspersão	3 x 3,5	Textura arenosa	0,60	0,60

[1] AVA: Argissolo Vermelho Amarelo; LR: Latossolo Roxo; LVA: Latossolo Vermelho Amarelo; TER: Nitossolo; AQ: Areia Quartzosa; NQ: Neossolo Quartzarênico.
Fonte: [2] Correa (1982); [3] Neves et al. (2001); [4] Bassoi et al. (2001); [5] Bassoi et al. (2002a); [6] Machado (2000); [7] Coelho et al. (2002); [8] Cintra et al. (1992); [9] Santos et al. (2003); [10] Bassoi et al. (2002b); [11] Coelho et al. (2003); [12] Silva et al. (2001); [13] Coelho et al. (2001); [14] Silva et al. (1999); [15] Sousa et al. (2002); [16] Choudhury et al. (1986); [17] Bassoi et al. (1999); [18] Bassoi et al. (2003a); [19] Bassoi et al. (1998); (20) Choudhury et al. (1980); (21) Bassoi et al. (2001); (22) Bassoi et al. (2003b).

Outra possibilidade é o uso de extratores de solução do solo, que são instalados também na zona radicular para o monitoramento da concentração de determinado íon, do pH e da condutividade elétrica no sistema solo-água. Os extratores podem ser instalados na profundidade efetiva e abaixo da zona radicular, de modo a verificar, por meio da comparação de concentrações dos íons, se está ocorrendo a lixiviação de

nutrientes. O movimento de nitrato, potássio, cálcio e magnésio no solo apresenta estreita relação com o fluxo de água no solo (BASSOI; CARVALHO, 1992; BASSOI; REICHARDT, 1995; SOUSA, 2000). Para ter mais velocidade, há necessidade de se determinar a concentração com testes rápidos, devidamente calibrados para o nutriente (íon) de interesse.

A água do solo move-se através dos solos predominantemente por fluxo de massa, governado por um gradiente de pressão. A difusão do vapor de água ocorre em uma escala muito menor dentro do movimento total de água no solo. À medida que as plantas absorvem água do solo, elas esgotam o solo de água junto à superfície das raízes, que leva a uma redução de K e do potencial hidráulico (ψ_H) da água junto à raiz e, consequentemente, ao surgimento de um gradiente desse potencial em relação às regiões vizinhas do solo, que possuem maiores valores de ψ_H.

Um contato íntimo entre a superfície radicular e o solo torna-se essencial para a absorção efetiva das raízes. Esse contato proporciona a área de superfície necessária para a absorção de água e é maximizado pelo crescimento das raízes, cuja presença de pelos radiculares aumenta significativamente tal contato (TAIZ; ZEIGER, 1998).

A consideração das regiões de absorção de água pelas raízes é importante tanto na irrigação por aspersão quanto na irrigação localizada. Os cálculos das quantidades de água a serem aplicadas às culturas levam em conta a profundidade efetiva do sistema radicular e essa profundidade, por sua vez, deve estar relacionada à zona do perfil do solo de maior atividade de extração de água do sistema radicular. Na irrigação localizada, o conhecimento da região de atividade efetiva de extração de água permite instalar melhor os emissores de água, de forma que a irrigação atenda às regiões efetivamente extratoras do sistema radicular. O conhecimento das zonas de absorção efetiva de água do sistema radicular é importante para nortear as adubações com fertilizantes sólidos, uma vez que eles devem ser aplicados à superfície do solo, sobre essas regiões efetivas de absorção de água. Há ainda a questão do

monitoramento da irrigação por meio de sensores de água do solo, que devem ser instalados nas zonas de maior atividade do sistema radicular.

Os modelos de absorção de água no solo devem refletir as condições de campo. Muito poucos estudos têm sido realizados com o fim de representar matematicamente a extração de água na zona radicular, principalmente em condição de fluxo multidimensional, tal como ocorre na irrigação localizada. Muitas das propostas existentes tendem a relacionar as zonas de extração de água às zonas de maior disponibilidade de água no solo (NEUMAN et al., 1975; PHILIP, 1991; WARRICK et al., 1980).

Coelho e Or (1996) propuseram modelos paramétricos para representar a extração de água no perfil do solo irrigado por gotejamento, baseados em funções de densidade de probabilidade Gaussianas de duas variáveis, em conformidade com diferentes distribuições de água no solo, esperadas de acordo com a posição da planta e do gotejador. No caso, assume-se que a região onde a extração de água ocorre é função principalmente da posição do gotejador em relação à posição da planta, e da presença de interfaces de extração nula, tais como, a superfície do solo e as regiões do bulbo molhado onde as tensões de umidade são superiores à capacidade de absorção pelas raízes. A Figura 1 ilustra duas configurações comumente esperadas em condições de campo para o caso do gotejador à superfície do solo (Figura 1a) ou enterrado (Figura 1b) próximo do caule da planta. No primeiro caso (Figura 1a), o modelo Gaussiano semilogarítmico pode ser usado para descrever a distribuição da extração de água:

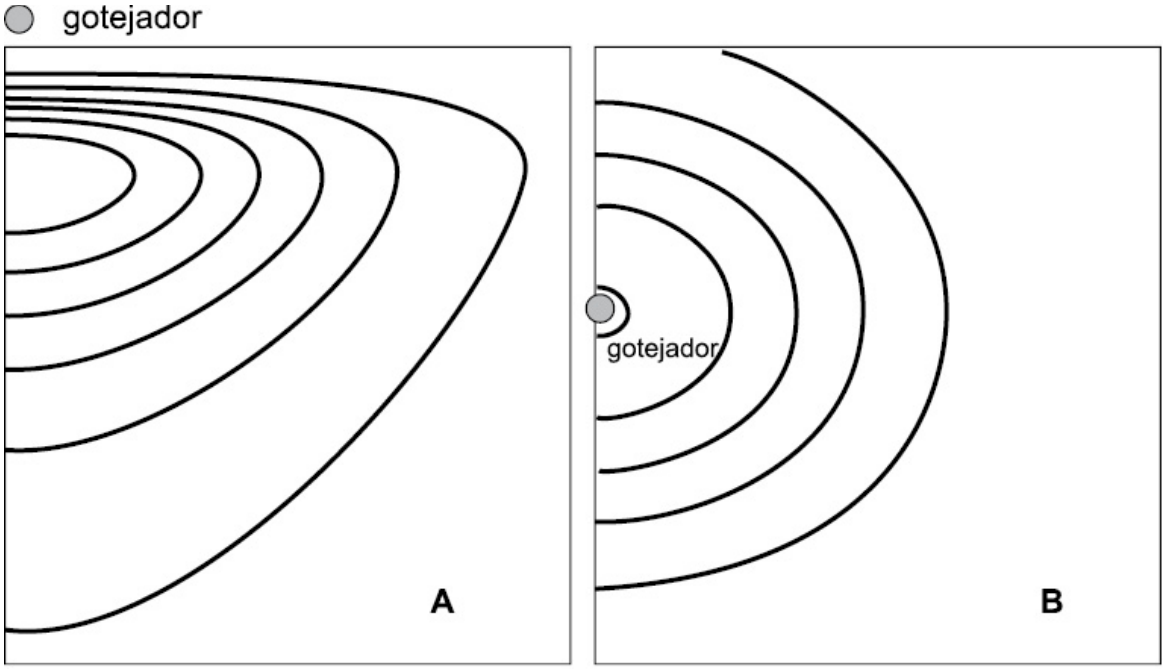


Figura 1. Configurações comumente esperadas em condições de campo para o caso do gotejador à superfície do solo (A) ou enterrado (B).

$$u(r,z) = \frac{\beta}{2\pi s_r \times S_z \times z} exp\left\{ - \frac{1}{2}\left[\frac{(r - m_r)^2}{s_r^2} + \frac{(ln(z) - M_z)^2}{S_z^2} \right] \right\} \quad (38)$$

Considerando-se o gotejador ou emissor enterrado, o modelo Gaussiano normal pode representar a distribuição da extração de água:

$$u(r,z) = \frac{\beta}{2\pi s_r \times s_z} exp\left\{ - \frac{1}{2}\left[\frac{(r - m_r)^2}{s_r^2} + \frac{(z - m_z)^2}{s_z^2} \right] \right\} \quad (39)$$

em que u (r, z) corresponde à fração de água extraída numa certa posição (r, z) do bulbo molhado em relação ao total de água extraída no plano; m_r e s_r são as médias e desvio-padrão, respectivamente, da distribuição de extração de água na direção radial e M_z e S_z são a média e desvio-padrão, respectivamente, referentes à coordenada transformada $ln(z)$ e β é um parâmetro de escala.

Os parâmetros m_r, s_r, M_z, S_z e β são determinados por um processo de otimização em que a função objetiva representa o somatório do quadrado dos desvios entre os valores estimados pelo modelo de extração e os dados observados, sendo as variáveis os parâmetros dos modelos. Esses modelos paramétricos devem ser calibrados para cada cultura e os seus parâmetros variarão principalmente conforme o manejo de irrigação e a idade da cultura.

Balanço de água localizada no perfil do solo para estimativa da umidade

A quantidade de água extraída numa posição (r, z) no modelo proposto pode ser obtida a partir da evapotranspiração diária da cultura E_t e da área (A) sobre a superfície do solo correspondente ao plano perpendicular à direção da linha lateral de gotejamento. Nesse caso as perdas por percolação e evaporação não são consideradas. A transpiração diária ($T = A \; x \; E_t$) no plano é convertida na transpiração numa posição (r, z) por meio do produto dela pelo valor de u (r, z) ou T' (r, z) = $T \; x \; u(r, z)$, em unidades de umidade volumétrica ($L^3 \; L^{-3} \; T^{-1}$). Numa escala horária, a transpiração t (r, z, t) pode ser dada pela equação:

$$\tau(t) = \frac{T' sin^4(\omega t)}{\int_0^{24} sin^4(\omega t)} \qquad (40)$$

em que $\omega = 2\pi/P$, sendo P o período considerado, e t o tempo atual (0–24 h).

A umidade na posição (r, z), num plano radial ao caule e ao gotejador, θ (r, z, t), será dada como resultado do balanço de água na posição (r, z) num dado tempo, levando em conta que os componentes do balanço são a umidade θ_f (r, z, t) resultante da infiltração e redistribuição de água

(equação 16) e a extração de água pelas raízes acumulada naquela posição desde o fim da última irrigação t_0, ou $\Delta\theta_\tau$ (r, z, t - t_0), em que:

$$\Delta\theta_\tau(r,z,t) = \int_{t_0}^{t} \tau(r,z,t)dt \quad (41)$$

Assim, ao fim de cada irrigação, considera-se que o deficit de água é suprido pela irrigação, fazendo $\Delta\theta_\tau$ (r, z, t_0) = 0; θ (r, z, t) ou a umidade atual será dada pela equação:

$$\theta(r, z, t) = \theta_f(r, z, t) - \Delta\theta_\tau (r, z, t - t_0) \quad (42)$$

A água na planta – transpiração

Caracterização quantitativa das condições hídricas das plantas

O estado hídrico das plantas pode ser caracterizado pelas medidas quantitativas do conteúdo de água em órgãos vegetais ou pela determinação do potencial total da água (ψ). Indicadores quantitativos indiretos, como sintomas visuais (secamento ou enrolamento das folhas, temperatura da folhagem e variação da condutância foliar à difusão de vapor), e variações micromorfométricas de órgãos, como caules, troncos e folhas, têm sido também usados e serão discutidos em item específico.

O conteúdo relativo de água e o potencial da água das folhas têm sido os indicadores quantitativos usados no estudo de relações hídricas em plantas, pela importância da folha como sede da fotossíntese e da transpiração e pela maior facilidade metodológica ao se trabalhar com esse órgão vegetal. Apesar de muitos considerarem ser o conteúdo relativo de água (*CRA*) melhor correlacionado com os processos

fisiológicos das plantas, visto que está relacionado com a variação de volume celular, que é relevante no metabolismo de plantas sob deficit hídrico (JONES, 1992), o potencial da água é o indicador mais usado por ter como base princípios termodinâmicos e pela vantagem de ser aplicável em qualquer parte do sistema solo-planta-atmosfera, permitindo o seu uso e o estudo integrado do sistema. Outro aspecto que favorece o uso do potencial da água é a maior facilidade metodológica atualmente existente para sua determinação, quando comparada com a determinação do conteúdo relativo de água.

O conteúdo relativo de água de uma folha é expresso por:

$$CRA\% = \frac{100\,(m_a - m_s)}{(m_t - m_s)} \tag{43}$$

em que m_a é a massa da amostra quando retirada (massa “fresca” ou “atual”), m_s corresponde à massa seca e m_t à massa na turgescência plena.

Um dos problemas metodológicos no uso do CRA está relacionado à determinação de m_t, que é obtido após se forçar a saturação da folha inteira ou de discos de folhas (o uso destes últimos é preferível, pois requer menor tempo para saturação). Em virtude do crescimento do tecido durante a saturação, ocorre uma absorção de volume de água maior do que aquele que ocorreria se a absorção durante a saturação correspondesse somente à eliminação do deficit hídrico do tecido. Outro problema que pode ocorrer é o ganho ou a perda de massa por causa do balanço entre a respiração e a fotossíntese, sendo adequado, para a maior confiabilidade dos resultados, que o processo de saturação seja realizado em condições de ponto de compensação luminosa. Detalhes dessas fontes de erros podem ser encontrados em Barrs (1965) e Slavik (1975).

As dificuldades metodológicas, a laboriosidade e o tempo envolvido na determinação, a pequena faixa de variação dos valores entre a turgescência plena e a perda da turgescência e a sua aplicação somente em folhas fazem que o CRA venha sendo menos usado do que o potencial da água como caracterizador das condições hídricas das plantas (ANGELOCCI, 2002).

O potencial da água, definido em termo de potencial químico (μ_w), e sua aplicação ao solo foram discutidos anteriormente. Para sua aplicação em plantas, é conveniente definir a estrutura dos órgãos vegetais como sendo composta por dois compartimentos separados pela plasmalema, sendo o interno às membranas denominado de simplasto e o externo, de apoplasto. Cada um dos compartimentos pode ser considerado um sistema contínuo em cada órgão, pois as células possuem pontos de passagem entre elas para constituir o simplasto, enquanto o apoplasto é formado por paredes celulares e todo o sistema de transporte de água e solutos externo às células. Além disso, os compartimentos possuem interação entre si, sendo os processos de trocas de água e solutos regulados pela presença da plasmalema. Esses conceitos permitem reconhecer que a água localizada em cada compartimento fica afetada por fatores específicos de cada um deles, como ocorre, por exemplo, com o potencial da água.

Conforme já abordado, o potencial químico da água é afetado por uma série de variáveis. O efeito da temperatura no potencial da água da planta, em razão da diferença entre a temperatura da água do sistema em um determinado estado e a temperatura no estado tomado como padrão, é complexo e somente é considerado em situações comparativas de sistemas com temperaturas próximas, de modo que o componente ψ_T acaba sendo desconsiderado.

O potencial de pressão ψ_P é definido como a variação do potencial químico da água em virtude da diferença de pressão exercida sobre o sistema em determinado estado e em um determinado estado padrão de

pressão, normalmente adotada como a atmosférica local. Se a pressão do sistema estudado estiver acima da pressão atmosférica local, os valores de ψ_P ocorrem em uma escala positiva. É o caso das células túrgidas, nas quais a parede celular que delimita o protoplasto oferece uma resistência contrária à deformação causada pela variação do volume celular, quando ocorre a difusão da água entre o apoplasto e o simplasto. A pressão de turgescência é necessária à expansão celular e à manutenção da forma de plantas herbáceas. O valor máximo de ψ_P do simplasto ocorre quando as células estão completamente túrgidas e diminui com a secagem do tecido até atingir um valor zero, quando ocorre a flacidez ou perda total da turgescência. No apoplasto, podem ocorrer situações passageiras de potenciais de pressão positivos, por mecanismo de pressão radicular, como ocorre, por exemplo, quando há a gutação. Entretanto, a situação comum que ocorre durante o período diurno é a água nos vasos do xilema ficar submetida à tensão originária da transpiração nas interfaces líquido-gás, nos sítios de evaporação da folha, e ser transmitida em toda a coluna de líquido até o solo em razão da coesão das moléculas de água e a alta tensão de cisalhamento dessa substância.

A variação do potencial químico da água em consequência da presença de solutos na seiva é representada pelo potencial osmótico ou de soluto (ψ_S). A presença de solutos reduz a energia livre da água no sistema, tornando o potencial cada vez mais negativo com o aumento da concentração. Esse componente é importante no simplasto, enquanto no apoplasto, onde a seiva normalmente é bastante diluída, o seu valor normalmente é menor (menos negativo).

O potencial mátrico ou matricial é um componente de grande importância no sistema solo, como discutido anteriormente. Na planta esse componente representa o efeito da presença de interfaces de adsorção de água, constituídas por coloides, proteínas e macromoléculas na variação do potencial químico da água, e pode estar presente tanto no

simplasto como no apoplasto. Neste último, pode ser considerada como um efeito matricial a diminuição da energia livre da água causada pela sua atração por cargas elétricas livres nas paredes dos vasos capilares. No caso das plantas, considera-se haver uma dificuldade em separar o componente matricial do componente osmótico, pois, segundo Jones (1992), a distinção entre ψ_m e ψ_s é até certo ponto arbitrária, uma vez que é difícil decidir se as partículas são solutos ou sólidos. Uma aproximação (NOBEL, 1999) é considerar o efeito aditivo dos dois no intuito de reduzir a energia livre de água, denominando-se um potencial "osmótico" ψ_p, constituído pela soma de um potencial de solutos ψ_S, e o outro potencial mátrico ψ_t.

O potencial gravitacional é definido como a quantidade de trabalho necessária para transportar, reversível e isotermicamente, uma quantidade unitária de água pura desde um reservatório à pressão atmosférica e em determinada posição de referência no campo gravitacional até um outro ponto de interesse, que pode ficar acima ou abaixo da referência. O potencial gravitacional cresce à razão de 0,0098 MPa m^{-1}, ou seja, é desprezível quando o estudo envolve plantas de pequeno porte ou o transporte de água ao nível celular. Esse potencial torna-se relevante em estudos envolvendo plantas de grande porte; nesse caso, o potencial total será equivalente a $\psi + \psi_g$.

Em resumo, o potencial de temperatura é complexo e, em se tratando de relações hídricas em vegetais, é desprezado. O potencial gravitacional somente é usado em estudos envolvendo transporte de água em plantas altas, sendo desprezível em transporte de células ou de órgãos de vegetais de pequeno porte. Os potenciais de soluto e mátrico são convenientemente apresentados como a soma dos dois, representando o potencial osmótico (ψ_π). Dessa forma, o potencial total da água em órgãos vegetais, como a raiz e a folha, acaba sendo considerado como a soma dos componentes de pressão e osmótico ($\psi = \psi_p + \psi_\pi$). Nesses órgãos, considerando-se que há uma tendência ao equilíbrio entre a água

apoplástica e a simplástica e desconsiderando-se os efeitos térmicos e gravitacionais, pode-se presumir que:

$$\psi_{simplasto} = \psi_{p(simp)} + \psi_{p(simp)} \quad (44)$$

e

$$\psi_{apoplasto} = \psi_{p(apo)} + \psi_{\pi(apo)} \quad (45)$$

em que $\psi_{apoplasto}$ muitas vezes é denominado de tensão da água no xilema.

Se considerada a água em equilíbrio em um tecido, $\psi_{simplasto} = \psi_{apoplasto}$, todos esses componentes ajustam-se a valores que levam a esse equilíbrio. A Tabela 2 mostra um exemplo de valores dos componentes de pressão e osmótico em razão do grau de turgescência de uma célula.

Tabela 2. Exemplo ilustrativo de variação dos componentes osmótico e de pressão e do total do potencial da água em razão da turgidez da célula.

Turgidez	ψ (MPa)		ψ_π (MPa)		ψ_P (MPa)
Plena	0,0	=	-2,0	+	+2,0
Parcialmente túrgida	-1,1	=	-2,1	+	+1,0
Flácida	-2,2	=	-2,2	+	0,0

Essas equações mostram a importância do conhecimento não somente do potencial total de um órgão vegetal, mas também dos seus componentes, pois valores iguais de ψ podem ser originários de valores de ψ_π e ψ_P diferentes, com significados fisiológicos também diferentes. Uma forma interessante de enxergar as relações entre os componentes do potencial da água e o volume celular, este último variando diretamente com o próprio volume da água celular em curtos intervalos de tempo (portanto, varia com o conteúdo relativo de água de uma folha), é utilizar o diagrama de Höfler (Figura 2). Quando a célula está completamente túrgida (turgidez máxima ou plena), ψ pode ser considerado nulo de modo

que $\psi\pi = \psi_p$. Com a perda de água, a célula diminui o seu volume, reduzindo a sua pressão de turgescência gerada pela extensão elástica da parede celular, que diminui quase que linearmente com o volume da célula até o ponto de turgescência zero (quando $\psi_p = 0$).

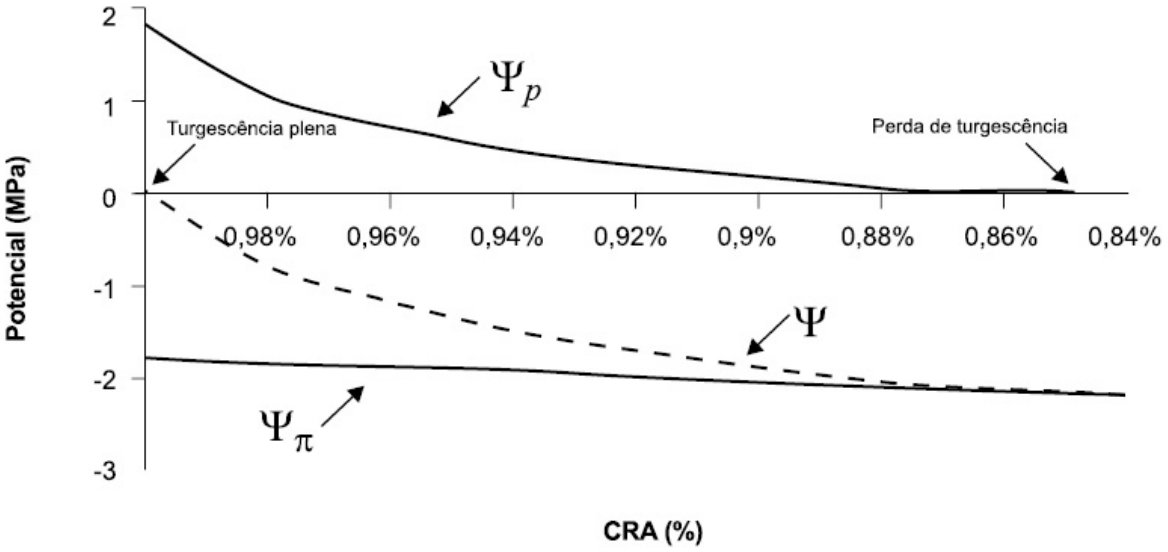


Figura 2. Relações hídricas em células vegetais pelo diagrama de Höfler.

Considerando-se o simplasto, as variações dos componentes ψ_π e ψ_p são funções da variação da concentração de solutos, com a diminuição do volume de água celular (mas não com a variação do número de moles de solutos, por exemplo), e das propriedades de plasticidade e elasticidade da parede celular que afetam a pressão interna das células, propriedades essas fundamentais para o alongamento celular. A elasticidade da parede celular e, portanto, das células – quantificada pelo módulo de elasticidade e, que representa o incremento de pressão interna P necessário para ocorrer o aumento relativo do volume celular V, ou seja,

$\varepsilon = \dfrac{dP}{dV\ /V}$ – é importante também pela manutenção da turgescência celular quando o tecido perde água. Tecidos mais elásticos (< ε) possuem a capacidade de reduzir mais lentamente a sua turgescência por unidade de volume de perda de água, de modo que, para um dado valor, ε de

tecidos mais elásticos possui valores de ψ_π e CRA inferiores e de ψ_p superiores aos apresentados nos tecidos mais rígidos. Por isso, é importante nos estudos de ajustamento osmótico a quantificação de ε, pois o efeito da maior elasticidade se confunde com o do ajustamento osmótico promovido pelo acúmulo de íons ou solutos orgânicos osmoticamente ativos nas células. O ajustamento osmótico é um mecanismo responsável pelo decréscimo do potencial osmótico por meio do aumento do número de moles de soluto e é desencadeado pelo mecanismo fisiológico da planta, podendo responder pelo aumento da tolerância do vegetal à seca e salinidade do solo em condições específicas (secagem lenta do solo, por exemplo).

Transporte de água na fase líquida na planta

Ao se estudar o transporte de água na planta, pode-se estar interessado no fluxo hídrico na escala de tecido ou mesmo celular ou no fluxo a “longa distância”, desde os sítios de absorção nas raízes até os sítios de evaporação nas folhas. No transporte pela planta como um todo, o xilema tem papel fundamental. A capacidade da planta de transportar água verticalmente até distâncias de dezenas de metros, contra a força da gravidade, foi desenvolvida pela evolução de um sistema eficiente de condução de seiva bruta constituído de vasos rígidos e metabolicamente inertes. Ao contrário do xilema, os tecidos vivos têm condutividade hidráulica relativamente baixa e, se as plantas não tivessem evoluído um sistema de baixa resistência hidráulica, teriam dificuldade de se desenvolver verticalmente, pois o transporte seria suficiente para atender somente a uma camada de tecido muito próxima da fonte de água.

O balanço hídrico de uma planta depende dos fatores que afetam a absorção de água pelas raízes e o seu transporte até os sítios de evaporação, bem como dos que afetam a perda de água para a atmosfera a partir das folhas. Para manter um balanço hídrico favorável

ao crescimento/desenvolvimento das plantas superiores, elas desenvolveram na evolução filogenética um sistema de controle da perda de água na forma de vapor – que compensa a presença de um eficiente sistema condutor capaz de mover grandes quantidades de água do solo para atmosfera, vencendo as resistências hidráulicas impostas no sistema radicular, caules e folhas –, além da elevada área foliar, para manter uma assimilação adequada de dióxido de carbono. O controle do balanço de água é possível pela presença de uma epiderme relativamente impermeável às trocas gasosas e de um sistema controlador dos fluxos de vapor e dióxido de carbono, sistema esse representado pelos estômatos.

Nos vegetais superiores, uma ligeira falta de água que ocorre em torno do meio-dia, até mesmo em plantas irrigadas, pode causar distúrbios ao metabolismo da planta. Uma ligeira diminuição de turgescência celular, suficiente para causar o fechamento temporário dos estômatos nos horários de elevada disponibilidade de energia e deficit de saturação de vapor do ar, torna a absorção de dióxido de carbono difícil, diminuindo sensivelmente a atividade de assimilação de carbono. Por isso, os vegetais vivem o eterno “dilema das prioridades opostas”, ou seja, abrir os estômatos para a entrada de CO_2, mas fechá-los, quando necessário, para evitar a perda excessiva de água, com tendência de favorecer a assimilação fotossintética (BOYER, 1976).

Salvo em condições de elevada umidade do solo e de períodos de baixa irradiância solar e elevada umidade atmosférica, quando a planta pode realizar a absorção de água ativamente, mediante a pressão radicular (KRAMER, 1983), a maior parte da água absorvida pelo vegetal movimenta-se das raízes até os sítios de evaporação por fluxo de massa, constituindo a corrente transpiratória, que representa o transporte de longa distância na planta. O eficiente sistema condutor das plantas permite o transporte de água do solo até a parte aérea, vencendo grandes distâncias no caso de árvores de grande porte, passando

somente por algumas camadas de células vivas. O fluxo de água nos diferentes órgãos da planta transpõe resistências cujas magnitudes variam conforme o órgão, gerando uma queda do potencial da água ao longo do caminho.

Um exemplo ilustrativo do que ocorre em plantas que possuem elevada capacitância no tronco e nos ramos pode ser observado na Figura 3. Ao longo de um dia, comumente é verificada a defasagem entre a absorção de água pelas raízes e a transpiração das folhas, explicada pelo fato de que na parte da manhã há uma tendência de o fluxo de seiva não acompanhar a variação da transpiração. Nessa parte do dia, a transpiração tende a acompanhar mais a variação das condições atmosféricas, cujo processo transpiratório ocorre nesse período parcialmente a expensas da água armazenada em tecidos. Já no final do dia, quando a transpiração tende a cessar, o fluxo de seiva continua a ocorrer em taxa que tende a repor a água presente nos tecidos e perdida ao longo do curso de um dia. Esse rearmazenamento hídrico pode continuar a ocorrer em grande parte do período noturno. Quando há deficiência de água no solo, a planta tende a prolongar ainda mais o período de absorção de água no período noturno, na tentativa de reduzir o deficit hídrico interno.

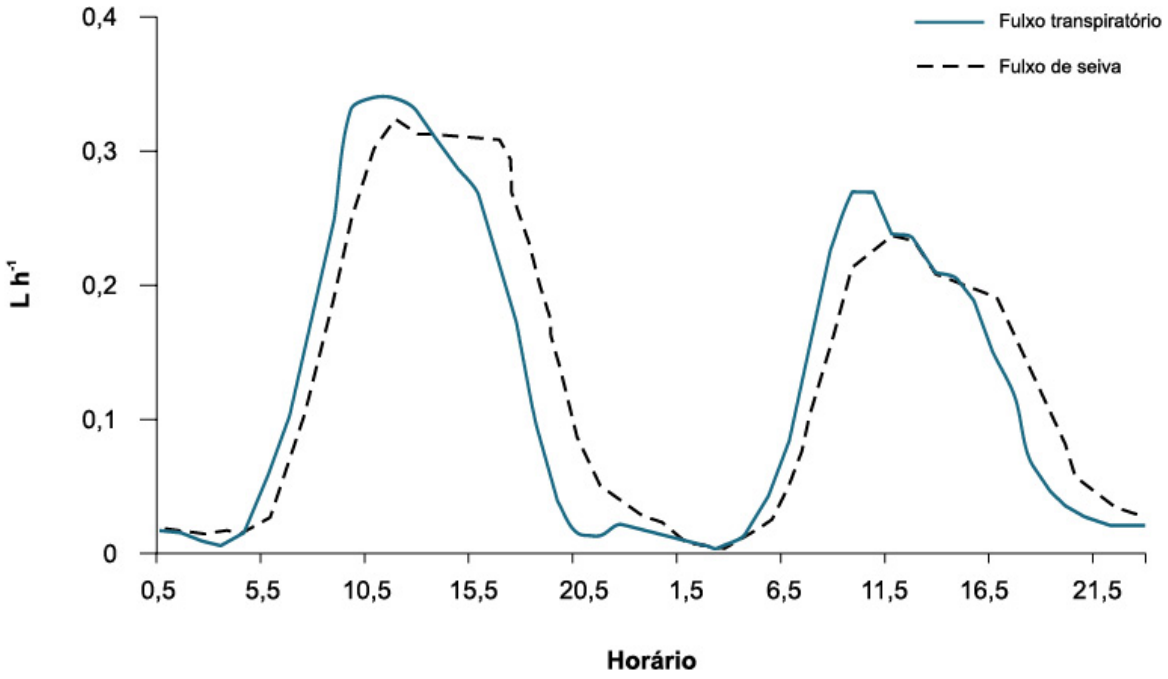


Figura 3. Variação diária do fluxo de seiva e do fluxo transpiratório de macieira ao longo de um dia.

Fonte: Angelocci (2002) e Valancogne e Nasr (1989).

O modelo integrado do transporte de água no SSPA descrito pela equação 1, apesar de ter influenciado os grandes avanços nos estudos de relações hídricas e transporte de água através de vegetais, possui uma série de simplificações que podem causar problemas. Apesar das simplificações impostas pela equação de fluxo de água e fluxo de vapor no SSPA, segundo Jones e Tardieu (1998), ela se aplica com pequenos erros em plantas herbáceas e anuais de pequeno porte. Quando se trata de espécies arbóreas, as relações entre os processos de transpiração e de absorção de água pela planta geralmente não ocorrem em equilíbrio dinâmico, em razão da grande quantidade de água armazenada nos tecidos (capacitância hídrica) desses vegetais. Nesse caso, a modelagem pode ser realizada com sucesso, considerando-se modelos que incluem elementos capacitivos para simular o fluxo dinâmico (Figura 4d).

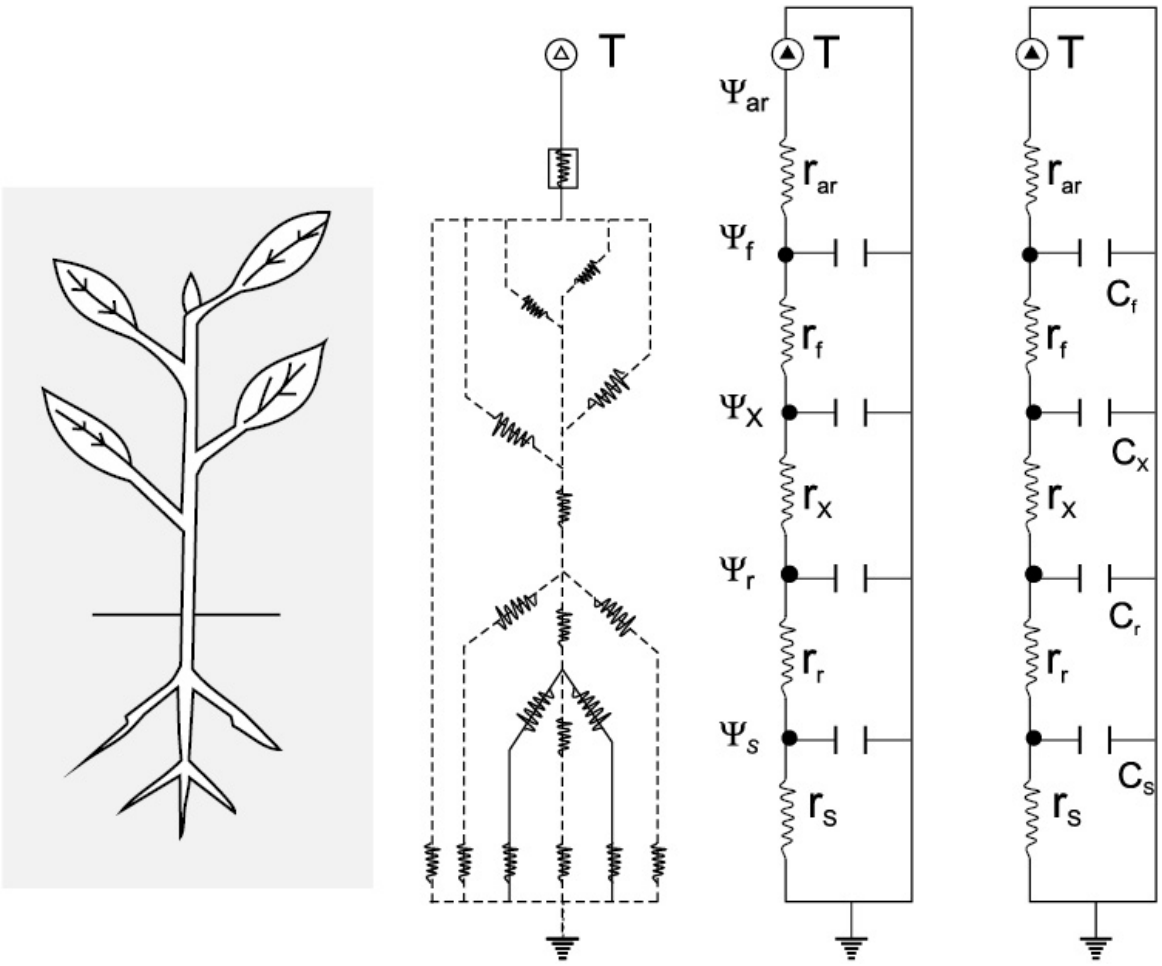


Figura 4. Representação simplificada de uma planta (A); rede de resistências correspondentes aos vários segmentos do SSPA, sendo a transpiração a força motriz para o fluxo (B); modelo simplificado envolvendo as resistências do solo (r_s), raiz (r_r), xilema (r_x), folha (r_f) e ar (r_{ar}) e os potenciais da água do solo (ψ_S), raiz (ψ_r), xilema (ψ_x), folha (ψ_f) e ar (ψ_{ar}) (C); esquema que inclui a capacitância em cada parte do sistema (D). T representa a transpiração e sua direção.

Fonte: adaptado de Jones e Tardieu (1998).

Deve-se considerar que, em um modelo de resistências hidráulicas, uma simplificação é assumir, em analogia com a Lei de Ohm, que elas são constantes com a variação do fluxo em cada parte do caminho no qual ocorre o transporte da fase líquida. Entretanto, existem evidências de serem as resistências hidráulicas variáveis em razão do fluxo de água, principalmente em raízes, dificultando a aplicação do modelo. Deve-se lembrar também de que, do solo até os sítios de evaporação nas folhas, o transporte ocorre na fase líquida e, dos sítios até a atmosfera, na fase de

vapor. Embora a força motriz para o fluxo seja a diferença do potencial químico da água, na fase de vapor o fluxo é proporcional à diferença de pressão de vapor entre folha e ar (diferença de temperatura folha-ar). Como a diferença de potencial da água na folha e da atmosfera é extremamente grande, por exemplo, -1,0 MPa na folha e -100 MPa na atmosfera, a resistência na fase de vapor aumenta desproporcionalmente se calculada somente a partir das diferenças de potencial da água, levando à interpretação equivocada de existir uma relação extremamente grande entre as resistências da fase de vapor e da fase líquida (LEVITT, 1966).

Deve-se considerar, adicionalmente, que o fluxo de água no SSPA é regulado pela abertura estomática e que os gradientes de concentração de vapor folha-ar representam a força motriz para o fluxo entre as folhas e a atmosfera, representado pela transpiração das plantas (T). Entretanto, fatores internos das plantas e os que regulam o transporte de água no solo também afetam o balanço de água na planta, demonstrando a importância de se tratar o SSPA de maneira integrada, considerando-se as particularidades existentes em cada parte do sistema. Segundo Kramer (1983), o fluxo de água no SSPA é controlado em primeira instância pela resistência dos estômatos, da cutícula e da interface folha-ar. Contudo, pela interdependência das partes constituintes do SSPA, qualquer alteração em uma parte desse sistema pode afetar as outras. Por exemplo, com a diminuição da taxa de absorção radicular, ocorre o deficit hídrico nas folhas e, por consequência, a redução da turgescência e abertura estomática, o que implica uma maior resistência ao transporte de vapor para atmosfera como mecanismo da planta para recuperar a turgescência.

Essas relações podem ser ainda mais complexas do que as apresentadas anteriormente e envolver o transporte hidráulico de substâncias (ácido abscísico – ABA, por exemplo) produzidas nos ramos e raízes como estímulo ao fechamento estomático. Nesse caso não existiria uma

resposta direta dos estômatos ao deficit interno da planta, mas sim à diminuição do teor de água do solo, mesmo que o estado hídrico da planta não tenha mudado. Tem-se sugerido que o mecanismo envolve o transporte de um sinal (provavelmente químico) das raízes para as folhas, de modo que estas reduzam a perda de água da planta quando as raízes ficam submetidas à secagem acentuada do solo.

Fluxo de vapor d’água entre as folhas e a atmosfera (transpiração)

O transporte de água na fase de vapor ocorre basicamente entre as folhas e a atmosfera, reconhecendo-se duas vias de ocorrência: a transpiração cuticular e a transpiração estomática. A segunda via predomina largamente nas espécies de interesse econômico em condições cujos estômatos não estão fechados. A transpiração estomática ocorre a partir dos sítios de evaporação nas paredes celulares, passando pelos espaços intercelulares de ar, estômatos, camada-limite de ar da folha e entrando na camada turbulenta, a partir da qual o vapor é transportado predominantemente para cima na atmosfera. Até a camada-limite, assume-se que o transporte ocorre por difusão gasosa molecular, que pode ser representado por um circuito de resistências (ou do seu inverso, condutâncias) difusivas (Figura 5).

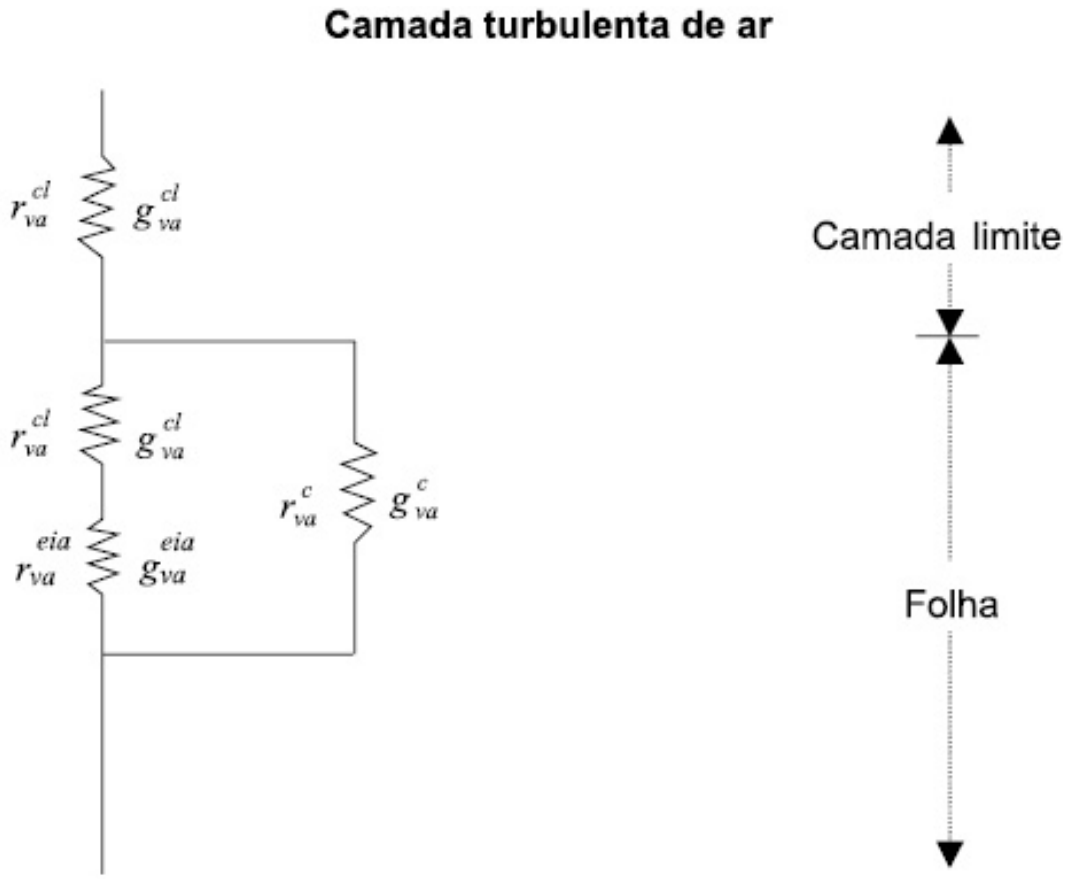


Figura 5. Circuito representativo do caminho de vapor e das condutâncias (g_{va}) e resistências (r_{va}) ao fluxo entre uma folha e a camada turbulenta da atmosfera, em que *eia* = espaços intercelulares de ar; *est* = estômatos; *c* = cutícula; *cl* = camada-limite de ar.

A densidade de fluxo de vapor d'água (por unidade de área foliar) pode, então, ser calculada a partir do uso da Lei de Fick adaptada, considerando-se fluxo em equilíbrio dinâmico:

$$F_{va} = {}^{f}g_{va} \times \Delta C_{va} = \Delta C_{va}/{}^{f}r_{va} = {}^{cl}g_{va} \times \Delta C_{va} = \Delta C_{va}/{}^{cl}r_{va} \quad (46)$$

em que F_{va} é a densidade de fluxo de massa de vapor (taxa de transpiração) foliar (em mg m^{-2} s^{-1} ou, mais comumente, μg cm^{-2} s^{-1}), ${}^{f}g_{va}$ e ${}^{cl}g_{va}$ são as condutâncias foliar e da camada-limite respectivamente (em m s^{-1}, sendo comumente usado mm s^{-1}), ${}^{f}r_{va}$ e ${}^{cl}r_{va}$ as respectivas resistências à difusão de vapor (s m^{-1}) e ΔC_{va} é a diferença de concentração de vapor entre os sítios de evaporação e o ar turbulento (em kg m^{-3}).

Conforme mostra a Figura 5, a resistência foliar é composta de duas resistências em série (estômatos e espaços intercelulares de ar) e uma em paralelo (cuticular). Quando são utilizados porômetros de fluxos difusivos nas medidas, a resistência (ou a condutância) foliar é determinada, embora muitas vezes se fale em medidas da resistência ou da condutância estomática, as quais, em condições normais, determinam a magnitude de ${}^{f}r_{va}$ ou ${}^{f}g_{va}$. Em vez de se trabalhar com a diferença de concentração de vapor ar-folha, prefere-se atualmente utilizar a diferença da fração molar de vapor d'água entre a folha e o ar (N_{va} expressa em mol de vapor/mol de ar, podendo ser considerado adimensional), associada à densidade de fluxo em base molar:

$$F_{va} = {}^{f}g'_{va} \times \Delta N_{va} = \Delta N_{va}/{}^{f}r'_{va} = {}^{cl}g'_{va} \times \Delta N_{va} = \Delta N_{va}/{}^{cl}r'_{va} \quad (47)$$

sendo F_{va} , g'_{va} e r'_{va} expressos em moles por unidades de área foliar e de tempo (mmol m^{-2} s^{-1}).

O uso de g'_{va} e r'_{va} é preferido atualmente, pois os seus valores são independentes da pressão atmosférica e menos dependentes da temperatura em relação a g_{va} e r_{va} (ANGELOCCI, 2002).

O uso do conceito de resistências/condutâncias difusivas e da analogia a um circuito elétrico facilita bastante o estudo das trocas gasosas planta-atmosfera, não somente porque representam variáveis de comparação em estudos diferentes, mas também porque permite entender com maior facilidade os fatores do ambiente que afetam a transpiração. Os valores de condutâncias foliares máximas (ou de resistências mínimas) são variáveis em razão das espécies, pois dependem da densidade de estômatos e das suas dimensões (abertura e profundidade), sendo afetados também pela presença de estômatos em um ou em ambas as faces da folha (folhas hipoestomáticas e anfistomáticas respectivamente). Valores máximos de ${}^{f}g_{va}$ encontrados estão em torno de 20 mm s^{-1} (${}^{f}r_{va}$ equivalente de 50 s m^{-1}), correspondentes a ${}^{f}g'_{va}$ de 0,83 mol m^{-2} s^{-1} (${}^{f}r'_{va}$ = 1,2 s m^{2} mol^{-1}). Em razão dos fatores do ambiente, como irradiância

solar, temperatura e concentração de vapor do ar, velocidade do vento e disponibilidade hídrica, essas condutâncias/resistências são extremamente variáveis, podendo $^{f}g_{va}$ atingir valores nulos (resistência infinita). O mesmo acontece com a condutância da camada-limite, que é diretamente proporcional à velocidade do vento e inversamente proporcional à dimensão da folha, podendo assumir valores até da mesma magnitude dos encontrados em folhas, mas variando muito com essas duas variáveis.

Fatores que afetam a absorção de água e a transpiração pelas plantas

A transpiração, assim como a evaporação da água do solo, ou seja, a evapotranspiração de uma cobertura vegetal, é dependente do suprimento energético (radiação líquida – Rn), do gradiente de pressão de vapor entre a superfície e a atmosfera e da velocidade do vento. A evaporação do solo é dependente da umidade de sua superfície. O conteúdo de água no solo, bem como sua capacidade de conduzir água até as raízes, e sua sal nidade também devem ser considerados (ALLEN et al., 1998). Além disso, a transpiração é influenciada por fatores ligados à própria planta e ao sistema de plantio. Os fatores das plantas referem-se às características da parte aérea e do sistema radicular. O sistema de plantio (espaçamento e orientação do plantio) afeta a interceptação da radiação solar e a resistência aerodinâmica ao fluxo de vapor.

Neste item, os fatores que afetam a absorção da água e a transpiração das plantas serão examinados com maior detalhamento, como subsídio para o estudo da evapotranspiração. Para isso, eles serão classificados em dois grandes grupos, o dos fatores do ambiente (ligados ao solo e à atmosfera) e o dos fatores da planta.

Fatores ambientais

Disponibilidade de água no solo

As características físicas do solo, como a textura e a estrutura, afetam diretamente a capacidade de absorção de água pela planta, pois estão ligadas à capacidade do solo de armazenar água e transportá-la para a superfície das raízes. O conhecimento do armazenamento de água disponível é uma informação básica para projetos de irrigação, considerando-se o limite superior (capacidade de campo) e o inferior (ponto de murcha permanente), que definem a capacidade de água disponível (CAD). Porém, quando há esgotamento da água do solo, antes de a umidade atingir o ponto de murcha permanente, as atividades fisiológicas são afetadas, ocorrendo a redução do crescimento da cultura, como consequência da diminuição da assimilação de CO_2 pelo aumento da resistência estomática e da redução da transpiração.

Como a dinâmica da água na planta envolve interação de fatores do solo, da planta (sistema radicular e área foliar) e da atmosfera (demanda atmosférica), é mais apropriada a utilização do conceito de “água facilmente disponível no solo”, representando uma fração da CAD passível de ser esgotada sem que a planta sofra deficiência hídrica, situação na qual a planta transpira potencialmente.

A lâmina de água facilmente disponível depende do tipo de solo, da profundidade do sistema radicular inerente à espécie de interesse e da demanda atmosférica. Solos arenosos, por exemplo, tendem a ter menor capacidade de água disponível por unidade de profundidade, com um limite mínimo de cerca de 0,5 mm de água/cm de profundidade, enquanto solos argilosos podem chegar num limite extremo e apresentarem 2,0 mm de água/cm de profundidade. Verifica-se assim que, quanto maior o volume de solo explorado pelo sistema radicular, maior a disponibilidade de água para a planta. Quanto maior a demanda atmosférica por água, maior a exigência hídrica da planta e maior deve ser a disponibilidade de água para ela não sofrer deficit, ou seja, a fração da água facilmente disponível deve ser crescente com o aumento da demanda. Esse fato

pode ser observado na Figura 6. Se a demanda atmosférica for baixa (evaporação do tanque Classe A – ECA < 5 mm dia^{-1}), a planta consegue extrair água do solo até uma certa porcentagem da CAD; se a demanda for muito alta (ECA > 7,5 mm dia^{-1}), mesmo com bastante umidade no solo, a planta não consegue extraí-la numa taxa compatível com suas necessidades, resultando em fechamento temporário dos estômatos para evitar o secamento da folha (PEREIRA et al., 1997).

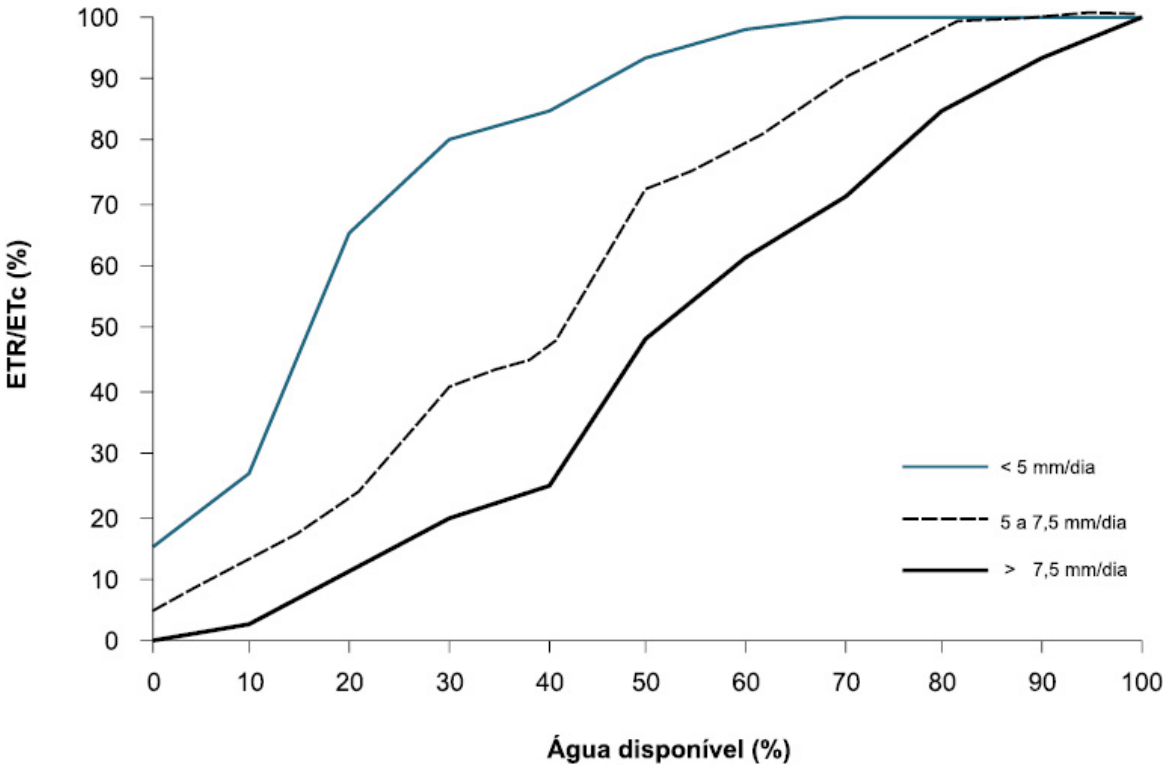


Figura 6. Inter-relação da evapotranspiração relativa de plantas (evapotranspiração real = ETR e evapotranspiração máxima da cobertura = ETc) com a porcentagem de água disponível no solo.

Fonte: adaptado de Denmead e Shaw (1962).

Salinidade do solo

O efeito da concentração salina na atividade fisiológica das plantas, como a redução do crescimento, da absorção radicular e da transpiração, está ligado à redução da energia livre (potencial) da água no solo, pela concentração de sais osmoticamente ativos na solução do solo e pela toxicidade causada por elementos acumulados nos tecidos vegetais,

como sódio, boro e cloro. O efeito da salinidade no rendimento das culturas é dependente da tolerância, da espécie e dos mecanismos que ela possui para a manutenção da turgescência quando submetida ao estresse salino.

O reduzido crescimento da planta em estresse salino é atribuído, principalmente, à redução da absorção de água em razão do efeito osmótico no solo. Kramer e Boyer (1995) consideram simplista essa visão, por observarem que, mesmo com baixo fluxo hídrico, as plantas conseguem absorver sal e recuperam o seu estado hídrico por reduzir o potencial osmótico da raiz, a exemplo de plantas transferidas de soluções de baixa para alta salinidade. Acrescentam que plantas submetidas ao aumento gradual da salinidade do solo mantêm a sua turgescência em razão dos mecanismos de ajustamento osmótico, ou seja, a tolerância à salinidade estaria ligada à quantidade de sal acumulado no protoplasma da planta sem haver injúria. O efeito da concentração salina nos processos metabólicos ainda não são bem explicados, mas, segundo Kramer (1983), a elevada concentração de sal mantém o potencial da água da célula baixo e provavelmente reduz a hidratação proteica e a atividade enzimática.

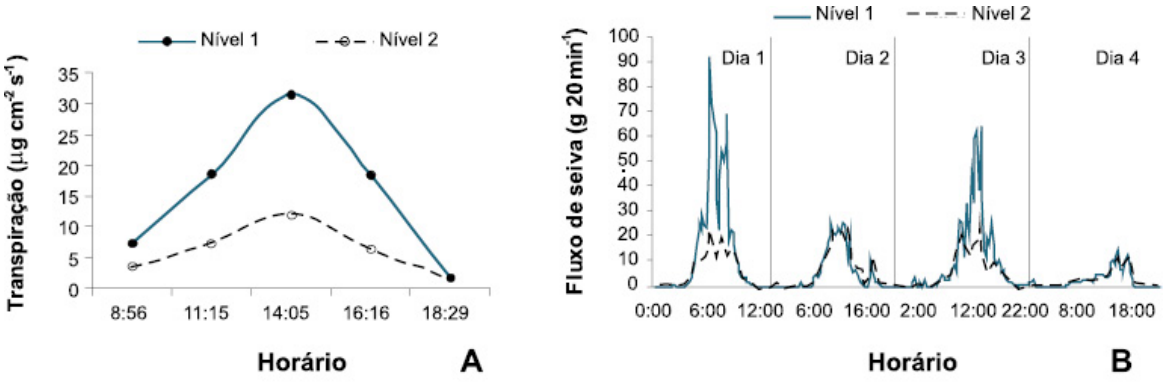


Figura 7. Transpiração de plantas de tomate submetidas a dois níveis de salinidade, determinada com porômetro de equilíbrio dinâmico (A); e fluxo de seiva das plantas ao longo de 4 dias, determinado a partir do método de balanço de calor no caule (B). Nível 1: *CE* da solução do solo de 7 dS m^{-1}; Nível 2: *CE* da solução do solo de 11 dS m^{-1}.

Fonte: Coelho Filho e Blanco (2004).

De maneira geral, a planta sofre com a permanência da elevada salinidade no solo, seja pelo aumento do potencial osmótico do solo, seja pela toxidez, o que se traduz na diminuição da absorção de água e da transpiração, observada na Figura 7. Nesta, a transpiração por unidade de área foliar do tomateiro é menor para uma planta submetida a um nível superior de salinidade do solo (nível 2). Esse comportamento pode ser observado analisando-se o fluxo de seiva das duas plantas ao longo de 4 dias, sendo praticamente iguais em dias nublados e diferentes quando a demanda atmosférica é elevada. Nessa condição, o fluxo de água verificado na planta mais estressada (nível 1) não acompanha o ritmo da menos estressada (nível 2).

Aeração do solo

Quando o solo está encharcado ou inundado, há preenchimento dos espaços porosos pela água. As trocas gasosas nessa situação são limitadas em decorrência da baixa difusão do oxigênio na água comparada à difusão no ar (10.000:1), limitando rapidamente o fornecimento desse elemento para a raiz.

A aeração adequada do solo é fundamental para a manutenção da atividade metabólica do sistema radicular da planta, o que permite a absorção adequada de água e nutrientes. A baixa aeração do solo aumenta a resistência ao fluxo de água na raiz, provocando a redução da absorção pelo sistema radicular, da assimilação de CO_2 e da transpiração da planta. Em plantas submetidas a estresse prolongado, ocorre a redução do crescimento radicular, da parte aérea da planta e do transporte de nutrientes, a secagem da planta e a morte (SCHAFFER et al., 1998).

O tempo que a planta pode suportar níveis críticos de oxigenação depende da tolerância da espécie vegetal, ligada aos mecanismos que a planta possui, como o aparecimento de raízes adventícias, facilitando o transporte de O_2 para as raízes em baixa aeração, e a hipertrofia do caule

acima da linha de água, resultando no aparecimento de lenticelas, a exemplo do que ocorre em mangueiras (SCHAFFER, 1998). A tolerância pode ser baixa como observado em plantas de abacate (WHILEY; SCHAFER, 1994) e de mamão, estas últimas podendo morrer após 2 a 4 dias em solo inundado e, caso não morram, não adquirem um desenvolvimento normal (MARLER et al., 1994) ou elevado, como observado em mangueiras, que suportam meses em inundação, sem haver morte da planta, ocorrendo a redução da taxa de crescimento da planta (SCHAFFER, 1998).

Temperatura ambiente

A temperatura ou calor disponível para a planta é fundamental para o adequado crescimento e desenvolvimento do vegetal, devendo ficar entre os limites críticos superior e inferior (de maneira genérica entre as espécies de interesse econômico, aproximadamente a 10 °C e 40 °C para não haver paralisação das atividades fisiológicas do vegetal). É importante também a duração do período de exposição vegetal ao estresse por temperatura. Geralmente a paralisação do crescimento/desenvolvimento do vegetal é reversível quando ele fica exposto a pequeno período abaixo do limite crítico inferior. Entre esses dois limites, existem as faixas ótimas para as plantas, as quais irão variar de acordo com a espécie vegetal e a fase fenológica da planta.

As injúrias causadas pelas elevadas temperaturas estão relacionadas à síntese proteica. A temperatura basal superior depende do tipo de metabolismo de carbono da planta (C_3, C_4 ou CAM). As plantas C_4 e CAM desenvolvem-se melhor em ambientes mais quentes e apresentam a máxima atividade fotossintética quando as temperaturas encontram-se entre 30 °C e 45 °C, enquanto as plantas com metabolismo C_3 possuem as maiores taxas fotossintéticas e máximos crescimentos entre 25 °C e 30 °C (PIMENTEL, 1998), porque nas C_3 a fotorrespiração, que também cresce com a temperatura, é superior à observada nas C_4, afetando a

fotossíntese líquida, representada pelo balanço entre os ganhos e perdas de carbono da planta.

As baixas temperaturas do solo reduzem a absorção de água pela planta tanto pela redução da permeabilidade das raízes, como pelo aumento da viscosidade da água, resultantes do aumento da resistência ao transporte de água no solo. Esse efeito combinado duplica, aproximadamente, a resistência ao fluxo de água do solo para a raiz quando há um decréscimo da temperatura de 25 °C para 5 °C (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979). A redução da absorção radicular também pode ser explicada pela baixa atividade da planta, o que diminui a capacidade de desenvolvimento radicular e exploração do solo (LARCHER, 1977). A atividade metabólica pode ser responsável pelo acúmulo de solutos na raiz, afetando também a absorção osmótica (ANGELOCCI, 2002).

O efeito de baixas temperaturas na redução da condutividade do sistema radicular é bem documentado em citros (KRIEDMANN; BARRS, 1981; SYVERTSEN; LLOYD, 1994) e pode ser observado ao comparar a taxa de transpiração de árvores de lima ácida em mesma disponibilidade energética, em períodos frios e quentes do ano (Figura 8).

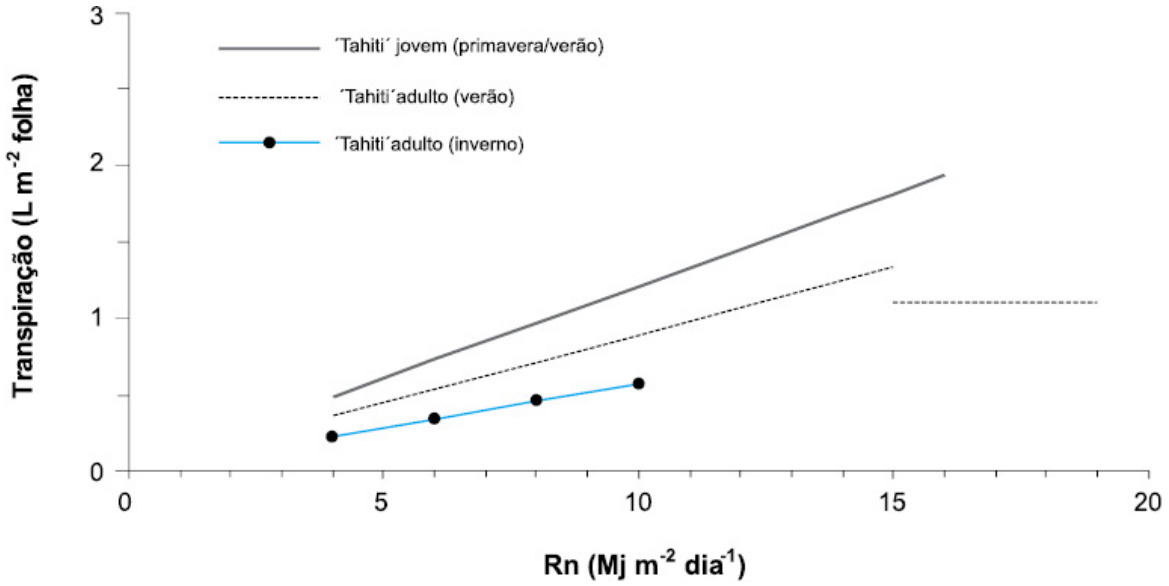


Figura 8. Relação entre a transpiração de lima-ácida 'Tahiti' por unidade de área foliar e a radiação líquida determinada sobre gramado em Piracicaba, SP. As limeiras jovens possuíam área foliar de até 1,1 m^2 e as adultas, 48 m^2 e 99 m^2.

Fonte: adaptado de Coelho Filho (2002) e Marin et al. (2001).

Balanço de energia radiante

A energia radiante é primordial para a ocorrência dos processos fisiológicos das plantas e físicos do ambiente. O saldo de radiação ou radiação líquida (Rn) representa o total de energia radiante disponível no sistema após o balanço entre seus fluxos de entrada e de saída, compondo o balanço de ondas curtas (BOC) e o de ondas longas (BOL), de modo que $Rn = BOC + BOL$. Os valores instantâneos e periódicos do BOC dependem da irradiância solar global e esta é dependente da hora do dia, época do ano e condições atmosféricas e das características radiométricas da superfície vegetada ligada à reflexão de ondas curtas (espécie, porcentagem de cobertura do solo e estádio fenológico); enquanto os do BOL dependem também de características atmosféricas (principalmente teor de vapor d'água e nebulosidade) e da própria temperatura da superfície. No sistema vegetado, basicamente o saldo de radiação pode ser repartido no aquecimento do ar e da planta (calor sensível), no aquecimento do solo, nos processos de sínteses biológicas, na evaporação da água do solo e na transpiração das plantas. Sem

limitação hídrica no solo, a maior fração da energia disponível, representada pelo saldo de radiação descontado do fluxo de calor no solo (Rn-G), é usada na forma de calor latente de vaporização. Quando há limitação de água, a partição de Rn começa a favorecer o calor sensível, ou seja, o aquecimento do ar e da cobertura vegetal, além de aumentar o poder evaporante do ar.

Portanto, em cultivos irrigados, o processo que predomina na partição da energia radiante disponível é a evapotranspiração. Quando a cultura apresenta baixo índice de área foliar (IAF), cobrindo pequena parcela do solo, o processo dominante é a evaporação da água no solo, principalmente quando se está irrigando por aspersão. As perdas por evaporação são minimizadas, diminuindo-se a superfície molhada do solo, por exemplo, para irrigação localizada. Com o aumento do IAF, a energia é utilizada basicamente para a transpiração, principalmente em se tratando de árvores (como em pomares), que possuem elevada superfície foliar, e em sistemas localizados de irrigação.

Umidade e temperatura do ar – velocidade do vento

A transpiração depende diretamente da diferença de concentração de vapor entre a folha (próxima à saturação) e a atmosfera. Desse modo, o aumento da umidade relativa do ar diminui as diferenças de concentração de vapor e tende a fazer que a transpiração diminua. Por sua vez, um aumento da temperatura faz que o deficit de saturação de vapor do ar aumente e também as diferenças entre concentração de vapor folha-ar, de modo que, mantidas as outras variáveis constantes, a transpiração se eleva até o momento em que há regulação estomática para evitar a perda excessiva de água.

O vento atua amplificando a ação dos outros elementos meteorológicos, aumentando a energia disponível para a planta transpirar, mediante o transporte energético por advecção de uma área mais seca para outra mais úmida. Mediante o movimento do ar na superfície foliar, remove o

vapor d’água, aumentando as diferenças de concentração de vapor folha-ar e contribuindo para o aumento da perda de vapor d’água da folha. A velocidade do vento afeta também a condutância difusiva da camada-limite da folha, aumentando-a com o aumento da velocidade e, consequentemente, aumentando a taxa transpiratória.

O efeito combinado (velocidade do vento, temperatura e umidade do ar) define a demanda atmosférica por vapor d’água (PEREIRA et al., 2002).

Fatores relacionados à planta

Características das folhas

As características das folhas são muito importantes nas trocas de vapor entre planta e atmosfera e estão relacionadas ao tamanho, à forma, à orientação, à exposição à radiação solar, à anatomia, às características da superfície e às dimensões dos estômatos.

O tamanho e a forma das folhas afetam o transporte de vapor folha-ar, atuando no aumento da resistência da camada-limite da superfície foliar. Há um aumento da resistência ao transporte de vapor de uma superfície com o acréscimo das dimensões foliares. Assim, mantendo constantes todos os fatores que afetam a perda de água pela folha, com o aumento das dimensões foliares, a transpiração por unidade de área foliar diminui. Exemplificando, o aumento de 1 cm para 5 cm das dimensões foliares na direção que sopra o vento faz a espessura da camada-limite quase dobrar, aumentando proporcionalmente a resistência difusiva dessa camada (ANGELOCCI, 2002).

A posição da folha e a maneira como ela se distribui na copa afetam a transpiração por unidade de área foliar. Plantas que possuem folhas que se posicionam paralelamente à incidência dos raios solares, reduzem o autossombreamento, aumentam a eficiência de absorção energética e geralmente transpiram mais por unidade de área foliar. O posicionamento

das folhas também afeta o movimento de ar, o transporte de vapor folha-ar e, consequentemente, a transpiração.

A estrutura das folhas afeta a transpiração e está relacionada à composição da cutícula, ao número, à distribuição, ao tamanho e à distribuição dos estômatos. A presença de uma camada maior de células na folha e de uma cutícula espessa depende da adaptação evolutiva da espécie, relacionada aos fatores ambientais predominantes e aos fatores ligados ao estádio de desenvolvimento da folha. Como exemplo, a transpiração cuticular de folhas jovens pode apresentar-se mais alta que em folhas velhas em razão de a cutícula ser mais fina e menos cerosa, porém, em folhas senescentes, a transpiração muitas vezes aumenta porque a cutícula sofre rachaduras e se torna mais porosa (SUTCLIFFE, 1980).

Plantas de sombra apresentam cutícula fina, e a transpiração cuticular pode representar até 30% do total no período diurno, enquanto nas suculentas de deserto é desprezível (SUTCLIFFE, 1980). Folhas de sol contêm mais camadas de células que as de sombra. As células paliçádicas estão mais juntas entre si e são alongadas em direção perpendicular à superfície foliar, funcionando como um mecanismo de proteção contra o excesso de luz (BERNARDES; LIMA, 2000). Apresentam também um sistema vascular mais desenvolvido e cutícula mais espessa (ANGELOCCI, 2002), evitando a perda excessiva de água. Folhas de sombra apresentam modificações anatômicas que favorecem a sua maior eficiência fotossintética, com a tendência de serem maiores e terem elevados teores de clorofila, favorecendo a coloração verde-escura. As folhas também são capazes de apresentar modificações anatômicas dependentes da quantidade de luz disponível no ambiente, a exemplo de sistemas agroflorestais (BERNARDES et al., 1997).

As plantas de ambiente seco possuem características xeromórficas, enquanto as mesomórficas são adaptadas a locais sem deficiência hídrica. As xeromórficas apresentam características que se aproximam

mais daquelas das folhas de sol e as mesomórficas, das de sombra. Embora se assuma que as folhas mesomórficas devam perder mais água que as xeromórficas em determinada condição ambiental, por terem maior volume de espaços internos de ar e cutícula menos espessa, verifica-se que, em condições hídricas satisfatórias, a densidade de fluxo de vapor d'água de certas espécies com folhas de caráter xeromórfico é da mesma magnitude e até maior do que as espécies com folhas tipo mesomórficas (ANGELOCCI, 2002). Um exemplo ocorre com a cultura do abacaxi, que possui características típicas das plantas xerófilas e o metabolismo ácido das crassuláceas (*CAM*), que favorecem a eficiência do uso de água em condições hídricas não favoráveis comparativamente a plantas C3 e C4. Mas, em condições de água facilmente disponível, elas passam a usar o metabolismo de plantas C3, transpirando mais por unidade de área foliar, como pode ser verificado no capítulo de irrigação e fertirrigação do abacaxi.

A presença de pilosidades diminui a transpiração por unidade de área foliar, apesar de sugerir o aumento em virtude da elevação da superfície evaporante. A existência de pelos favorece a reflexão de radiação solar e, consequentemente, a absorção solar, aumenta a resistência da camada-limite da folha e reduz a temperatura da folha, diminuindo as necessidades de dissipação de calor. Por isso, segundo Sutcliffe (1980), não é surpresa que muitas plantas do deserto sejam densamente pilosas.

A transpiração é dependente da superfície foliar total de uma planta. Quanto maior a superfície foliar, para um mesmo nível energético, maior será a transpiração (Figura 9). Porém, nem sempre o aumento da transpiração é proporcional ao da área foliar, pois o aumento da área acarreta maior densidade de folhagem e maior autossombreamento das folhas das plantas, responsável pela redução da condutância estomática (COELHO FILHO, 2002; JONES et al., 1985). A transpiração de plantas adultas de lima ácida 'Tahiti', com área foliar variando entre 48 m^2 e 64 m^2, foi sempre inferior à observada em plantas jovens para uma mesma

demanda atmosférica, como discutido por Coelho Filho (2002). Por sua vez, há estudos demonstrando que a remoção de parte da área foliar não se traduz em redução proporcional da densidade de fluxo de transpiração, mas no seu aumento, sugerindo que isso ocorra em decorrência da maior exposição das folhas à radiação (menor densidade foliar) e da variação na interação do vento com a vegetação, quando ocorre o raleamento das folhas, bem como provavelmente da modificação na relação área foliar-área de raízes (ANGELOCCI, 2002).

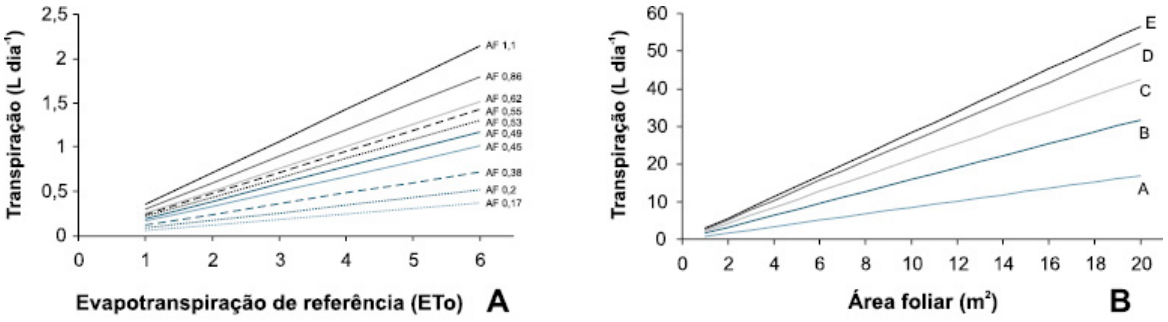


Figura 9. Transpiração de plantas de lima ácida 'Tahiti' com área foliar (*AF*) entre 0,17 m^2 a 1,1 m^2, em dias com evapotranspiração de referência (*ETo*) variando entre 1 mm dia^{-1} a 6 mm dia^{-1} (A); transpiração (fluxo de seiva) de maçã com área foliar variando de 1 m^2 a 20 m^2, e dias com valores distintos de *ETo* – A, B, C, D e E – (B).

Fonte: adaptado de Angelocci e Valancogne (1993) e Coelho Filho (2002).

O índice de área foliar (*IAF*) é uma variável muito utilizada para expressar o crescimento da planta e afeta a evapotranspiração das culturas anuais. Em culturas perenes, as relações existentes são mais complexas e o *IAF* não é a variável mais indicada. Nesse caso, a área foliar total é a base para a modelagem da transpiração (BRAUN et al., 2000; COELHO FILHO, 2002), por ser a informação que melhor padroniza as diferentes características dos pomares, as quais afetam a transpiração das plantas, como o espaçamento de plantio, a idade do pomar, a área foliar total, a resistência aerodinâmica da planta (plantas isoladas são mais expostas ao vento que coberturas contínuas), a densidade de folhas e a exposição da planta à radiação solar.

Sistema radicular e relação raiz-copa

A informação da profundidade e extensão do sistema radicular da cultura é fundamental para a escolha, o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação. É importante salientar que, em plantios situados no Semiárido, o fornecimento de água pelo sistema de irrigação é que irá limitar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, sendo maior ou menor em razão das características de distribuição de água pelo sistema de irrigação.

Plantas que exploram um maior volume de solo em extensão e, principalmente, em profundidade, possuem também uma maior disponibilidade hídrica e são capazes de transpirar potencialmente com um maior intervalo entre duas irrigações. Elas também são capazes de tolerar um maior período de deficiência hídrica comparadas a plantas que exploram o solo superficialmente. A condutividade hidráulica da planta também é muito importante para as relações hídricas. Plantas que possuem baixa condutividade hidráulica podem não conduzir água suficiente para atender a uma elevada demanda atmosférica, podendo ocorrer nesse caso a regulação estomática para a manutençãol do balanço de água adequado para o vegetal. É o exemplo de plantas cítricas, que possuem baixa condutividade hidráulica e eficiente regulação estomática à difusão de vapor (KRIEDMANN; BARRS, 1981).

Outra característica importante para o balanço hídrico da planta é a relação existente entre raiz e parte aérea da planta (raiz/copa). Quanto menor a relação, maior será a incapacidade de transportar água para a copa da planta em dias com elevada demanda atmosférica. Essa característica é muito importante para cultivos de sequeiro, pois, quanto maior a relação raiz/copa, maior sua capacidade de tolerar os períodos de deficiência hídrica. Teoricamente, em razão de o suprimento hídrico ser contínuo, em cultivos irrigados a planta não necessita gastar energia para aumento e manutenção de sistema radicular. Porém, uma maior relação pode garantir a sobrevivência ou impedir que a planta sofra deficiência,

caso ocorra falha no sistema de irrigação e este não funcione por determinado período.

As relações abordadas são muito importantes e o seu efeito pode ser visualizado no campo, a exemplo de plantas de mamão, que, mesmo com um bom suprimento hídrico, murcham em dias com elevada demanda atmosférica, como verificado por Silva et al. (2003). Nesse caso, esse comportamento reflete, possivelmente, uma combinação de fatores, por ser uma cultura herbácea com elevada condutividade hidráulica (COELHO FILHO et al., 2003; MARLER et al., 1994) e baixa relação raiz-copa, combinada à possível incapacidade do solo de conduzir água na velocidade que atenda à demanda da planta. Em plantas adultas de citros, que possuem elevada superfície foliar (COELHO FILHO et al., 2003; SYVERTSEN; LLOYD, 1994) e, consequentemente, uma baixa relação raiz-copa, em dias com elevada energia radiante (saldo de radiação > 16 MJ m^{-2} dia^{-1}), a absorção energética da árvore é elevada, mas a capacidade de suprimento de água pelo sistema radicular não é suficiente para atender à demanda atmosférica. Em plantas jovens de citros, mesmo em condições de elevada disponibilidade energética, acima de 16 MJ m^{-2} dia^{-1}, a maior relação raiz-copa (CASTEL, 1978) pode explicar a razão de não ocorrer a queda da transpiração em elevada disponibilidade energética (Figura 8).

Indicadores vegetais do grau de deficit hídrico

Existem vários indicadores do estado hídrico das plantas, como os baseados em variáveis físico-hídricas do solo, o seu potencial mátrico e a variação do conteúdo de água disponível. Nas últimas décadas, tem-se dado considerável atenção ao uso de indicadores da própria planta, pois,

segundo Kramer e Boyer (1995), as próprias plantas são os melhores indicadores da disponibilidade hídrica ao integrarem todos os fatores que afetam o seu grau de hidratação. Muitos acreditam que os índices das plantas são os mais confiáveis, considerando-se que o solo é apenas um indicador indireto. Porém, as variáveis medidas diretamente na planta mostram-se muito sensíveis a fatores ambientais e a resposta ao estresse pode ser mal-interpretada, indicando apenas um deficit hídrico temporário, resultante do desequilíbrio existente entre a transpiração e a absorção radicular.

A seguir, esses indicadores serão discutidos de forma sucinta.

Potencial da água na folha

Entre os métodos usados para a determinação do potencial da água na planta, destacam-se os baseados no equilíbrio de vapor (técnicas psicrométrica e higrométrica) e o da câmara de pressão. Uma das vantagens da câmara de pressão é a possibilidade de estudos de curva pressão-volume, permitindo o estudo detalhado das relações hídricas do tecido vegetal com a construção do diagrama de Höfler (Figura 2), a determinação da fração da água apoplástica e simplástica do tecido, dos potenciais na turgescência plena e turgescência zero, do módulo de elasticidade da parede celular e do possível mecanismo de ajustamento osmótico da planta.

Entretanto, para uso no campo e determinação direta do grau de deficit hídrico das plantas, como se exige na irrigação, esses métodos possuem suas limitações, e uma série de cuidados relevantes devem ser levados em conta no processo de coleta, armazenamento, avaliação e análise dos resultados, como abordado por Boyer (1995). Especialmente para plantas de grande porte, com grande quantidade de folhas, a variabilidade temporal e espacial do potencial da água na folha, em virtude da maior ou

menor exposição à radiação solar coletada durante o período diurno, dificulta a tomada de decisão quanto à amostragem a ser realizada.

Conforme explicado anteriormente, os órgãos vegetais mais usados para a determinação do potencial da água são as folhas (ψ_F) e os ramos (ψ_R). Contudo, Jones (1992), com base em resultados experimentais, afirma que a folha pode não ser o local mais apropriado de se determinar o potencial numa planta, porque: a) o potencial da água na folha sofre variações em curta escala de tempo, dependendo das condições ambientais, com o aumento e a diminuição da irradiância solar em decorrência da passagem temporária de nuvens; b) em alguns casos, o potencial da água pode ser mais elevado em plantas submetidas a uma maior secagem do solo que em plantas com água facilmente disponível no solo em razão da regulação estomática; nesse caso, o fechamento estomático não pode ser explicado pela deficiência hídrica na folha regulada pelo mecanismo de realimentação (*feedback*), e sim pela resposta às condições hídricas do solo, ligada ao transporte hidráulico de sinais (ABA) do sistema radicular para as folhas; c) em experimentos envolvendo a subdivisão do sistema radicular de plantas, tem-se verificado que é possível a manutenção do estado hídrico da folha ao deixar parte do sistema radicular da planta com água facilmente disponível e outra porção sofrendo estresse pela seca; nesta última condição, os estômatos podem permanecer fechados ou o crescimento da planta pode ser inibido; d) experimentos têm demonstrado que o comportamento estomático é mais relacionado com o estado hídrico do solo do que com o potencial da água na folha durante o período diurno.

Alguns resultados demonstram que as medidas realizadas em ramos (ψ_R) são mais consistentes que as realizadas em folha no período diurno, representando melhor o estado hídrico da planta em razão das variações micrometeorológicas ao longo do dia (deficit de pressão de vapor e radiação solar absorvida), sendo mais sensíveis a níveis de irrigação aplicados (NAOR, 1998) que os potenciais da água da folha. Entre

muitos, os resultados de Choné et al. (2001) para videiras, MacCutchan e Shackel (1992) para ameixeira e Naor et al. (1995) para macieira revelaram que o ψ_R correlacionou-se melhor com a transpiração e com a condutância estomática do que o ψ_F.

Quando se trabalha com o ψ_F, as dificuldades de interpretação dos seus valores, mesmo quando estes são determinados no meio do dia, período no qual as variações ambientais são menores que no início da manhã ou final da tarde, têm levado à preferência pela utilização do potencial da água na folha determinada antes do amanhecer, ψ_{FAA} *pré-dawn leaf water potential*. Este é considerado por muitos o melhor indicador para caracterizar o estado hídrico da planta, pois no horário de medida não há transpiração, os gradientes do potencial da água na planta são pequenos e o ψ_{FAA} é representativo das condições hídricas do solo (AMEGLIO et al., 1999). Entretanto, alguns resultados, como os observados por Choné et al. (2001) em videiras, têm demonstrado que a sensibilidade para detectar o deficit de água na planta pode ser maior ao se determinar o potencial da água ao meio-dia quando as medidas são realizadas em ramos ($\psi_{R} > \psi_{FAA} > \psi_{L}$).

Em estudos realizados com culturas anuais e perenes, têm-se encontrado bons resultados com a utilização do ψ_{FAA} como índice de deficiência hídrica da planta, o qual se tem correlacionado bem com a transpiração relativa (TR) – razão entre a transpiração atual e a máxima. Em muitos dos trabalhos envolvendo fruteiras, a transpiração relativa determinada em campo é obtida com o auxílio de métodos envolvendo o fornecimento de calor no tronco ou ramos das plantas, como o da sonda de dissipação térmica (GRANIER, 1985), o balanço de calor (SAKURATANI, 1981) e o de pulso de calor (COHEN et al., 1981), que têm auxiliado a modelagem da transpiração e permitido grandes avanços nos estudos de relações hídricas. Resultados de Valancogne et al. (1996), com seis espécies frutíferas cultivadas em locais distintos, demonstraram que, ao padronizar os valores máximos do ψ_{FAA} como uma função de TR versus ψ_{FAA}, é

possível utilizar TR como indicador de deficiência hídrica em manejo de irrigação.

Porém, existem casos em que o ψ_{FAA} não se correlaciona com o potencial da água no solo na zona radicular da cultura, como é esperado. Resultados observados por Ameglio et al. (1999) demonstram que o ψ_{FAA} não é um bom índice de estresse para plantas cultivadas em solos apresentando heterogeneidade de umidade, particularmente quando somente uma pequena parte do solo contém água facilmente disponível, como pode ocorrer quando se irriga por gotejamento e microaspersão (Figura 10). Verifica-se que o ψ_{FAA} e a TR se correlacionam bem quando o solo é umedecido uniformemente, e se mantém em valores mais altos quando o solo é irrigado de maneira heterogênea, mesmo com o decréscimo acentuado da transpiração das plantas em deficit hídrico. Esse comportamento pode estar ligado ao envio de sinais das raízes localizadas em zonas mais secas do solo para as copas das plantas, promovendo o fechamento estomático e a manutenção dos potenciais da água nas folhas acima dos valores esperados, mesmo estando as plantas em deficit hídrico.

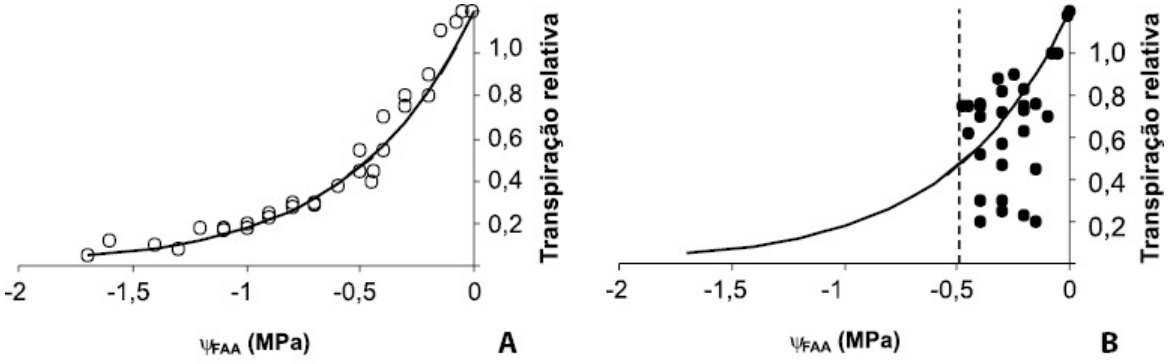


Figura 10. Relação entre transpiração relativa e potencial da água na folha antes do amanhecer (ψ_{FAA}) em árvores de nogueira: solos com distribuição homogênea de água (A); solos com distribuição heterogênea de água (B).

Fonte: adaptado de Améglio et al. (1999).

Nesses casos, o ψ_{FAA} não pode ser utilizado como índice de deficit hídrico da planta e a transpiração relativa é o melhor indicador desse deficit.

Transpiração e condutância foliar à difusão de vapor

A transpiração e a resistência foliar à difusão de vapor são variáveis utilizadas em estudos fisiológicos de relações hídricas como índices de estresse de uma cultura para o manejo de irrigação. Plantas estressadas aumentam a resistência à difusão de vapor e transpiram menos por unidade de área foliar.

Existem vários fatores que afetam a abertura estomática, como a idade da folha, a luminosidade, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, o vento, o potencial da água na folha, a disponibilidade hídrica do solo e o possível transporte de substâncias das raízes para partes aéreas das plantas, quando há existência de deficiência de água no solo. Esses fatores dificultam a interpretação dos valores e sua relação com o balanço hídrico da planta. A existência e atuação desses fatores separadamente ou de forma integrada dificultam o uso da condutância estomática como indicador de deficit hídrico (ANGELOCCI, 2002).

Existem muitas técnicas utilizadas para a determinação da transpiração em plantas, como a gravimétrica ou a de inserção da planta inteira ou folhas em uma câmara gasométrica (ANGELOCCI, 2001). Quando se trabalha com a planta inteira, a técnica gravimétrica pode ter alta exatidão e precisão, sendo o princípio, por exemplo, dos lisímetros de pesagem. A técnica lisimétrica é considerada como boa referência para a determinação do consumo de água pelas plantas, entretanto, ao se trabalhar com árvores de grande porte, ocorre limitação do seu emprego,

pelo elevado custo do equipamento, pelas dificuldades de instalação e pelas limitações metodológicas de representatividade e qualidade das leituras (GREBET; CUENCA, 1991; HOWELL et al., 1995; JENSEN et al., 1990; WRIGHT, 1991).

Boa parte dos estudos de transpiração de espécies herbáceas e arbóreas no campo vem sendo realizada por técnicas de fornecimento de calor ao caule, já citadas. Essas técnicas não causam distúrbios ao sistema radicular e folhas, perturbando pouco o caule, se corretamente aplicadas. Quando bem utilizadas, permitem o acompanhamento quase que instantâneo do fluxo de água por meio da secção de caule ou tronco em que se realiza a medida, por apresentarem boa resposta dinâmica. Exemplificando, resultados de pesquisas apontam como sendo entre 5 e 20 minutos a resposta dinâmica do método do balanço de calor em espécies herbáceas (BAKER, BAVEL, 1987) e lenhosas (CERMARK et al., 1984; OLIVEIRA, 1997; STEINBERG et al., 1989; TREJO-CHANDIA et al., 1997).

Ao utilizar essas técnicas, a transpiração corresponderá ao fluxo de seiva acumulado no período de 24 horas, minimizando o efeito das defasagens que ocorrem, principalmente, em plantas com elevada capacitância (Figura 3). Entretanto, deve haver cautela na utilização dessas técnicas, somente as utilizando com pleno conhecimento de como minimizar suas fontes de erro e, também, se elas são aplicáveis à espécie estudada.

Ao comparar a transpiração obtida com o uso de lisímetro de pesagem e do fluxo de seiva determinado e a com o uso do método do balanço de calor no caule, em plantas jovens de lima ácida ‘Tahiti’ em campo, Coelho Filho (2002) verificou para 4 dias (Figura 11) que a transpiração diária foi muito próxima dos valores diários acumulados de fluxo de seiva. As medidas de fluxo de seiva apresentam-se coerentes ao longo dos 3 dias, com valores positivos e crescentes, até os horários de maior demanda do dia, com redução no período da tarde. Diferentemente, os lisímetros apresentaram grandes oscilações ao longo do dia, inclusive com valores,

muitas vezes, altamente negativos. A elevada variabilidade pontual das medidas de transpiração nos dois lisímetros implica valores grosseiramente diferentes dos determinados pelo método do balanço de calor. Essas divergências podem ser atribuídas ao efeito da ação do vento e à elevada rugosidade da cultura, impedindo as comparações entre as duas metodologias em escala inferior a 24 horas (COELHO FILHO, 2002).

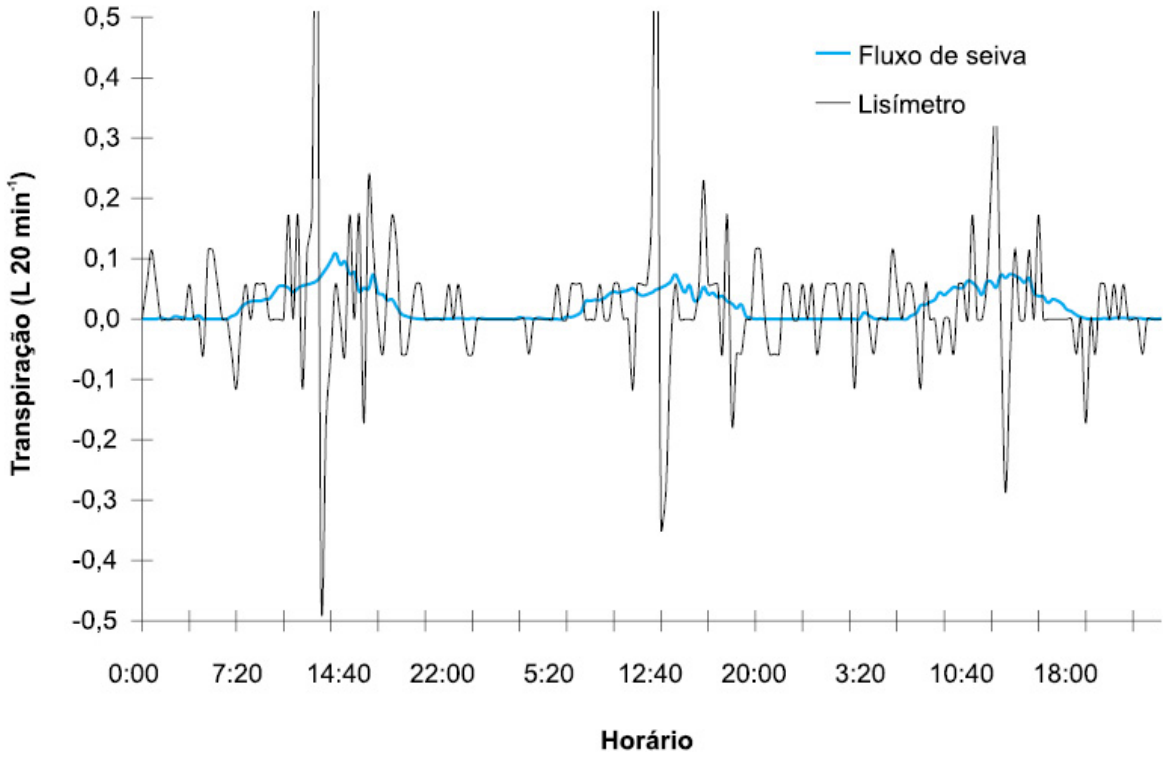


Figura 11. Curso da transpiração medida em um lisímetro de pesagem e do fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor no caule de plantas de lima ácida 'Tahiti', nos dias julianos 329, 330 e 331 do ano de 2001, em Piracicaba, SP.

Fonte: Coelho Filho (2002).

A técnica de câmaras gasosas apresenta a desvantagem de causar distúrbios no ambiente em torno da folha, o que interfere nas medidas. O princípio dessa técnica é utilizado nos porômetros e analisadores gasosos por infravermelho, equipamentos extensivamente usados atualmente, que possibilitam as medidas de condutância estomática e transpiração. Além

da interferência na medida, causada pela inserção das folhas na câmara gasométrica, a técnica porométrica, por exemplo, apresenta problemas de ordem prática, como impossibilidade de automação das medidas e de representatividade das leituras, principalmente quando se está fazendo medidas em plantas com elevada superfície foliar, o que favorece o aumento da variabilidade espacial e temporal das leituras.

Para fins comparativos em medidas no campo, é desejável que as leituras porométricas sejam realizadas em dias completamente limpos, evitando-se que a passagem de nuvens torne comparativamente incompatíveis as leituras realizadas em plantas diferentes. Os horários em que são realizadas as leituras também afetam a variabilidade. Geralmente, em horários de pico energético, a variabilidade das leituras é maior e consequentemente menor será a sua representatividade, como se verifica na Figura 12. A época do ano interfere no comportamento relativo da abertura estomática de folhas de sol e sombra. Para a cultura da lima ácida ‘Tahiti’, foram observadas maiores condutâncias no verão para folhas de sol e valores muito próximos no outono e inverno, podendo ser explicados pelas baixas temperaturas do ambiente (que afetaram a absorção radicular) e pelos elevados deficits de saturação de vapor em agosto, conduzindo à diminuição da abertura estomática.

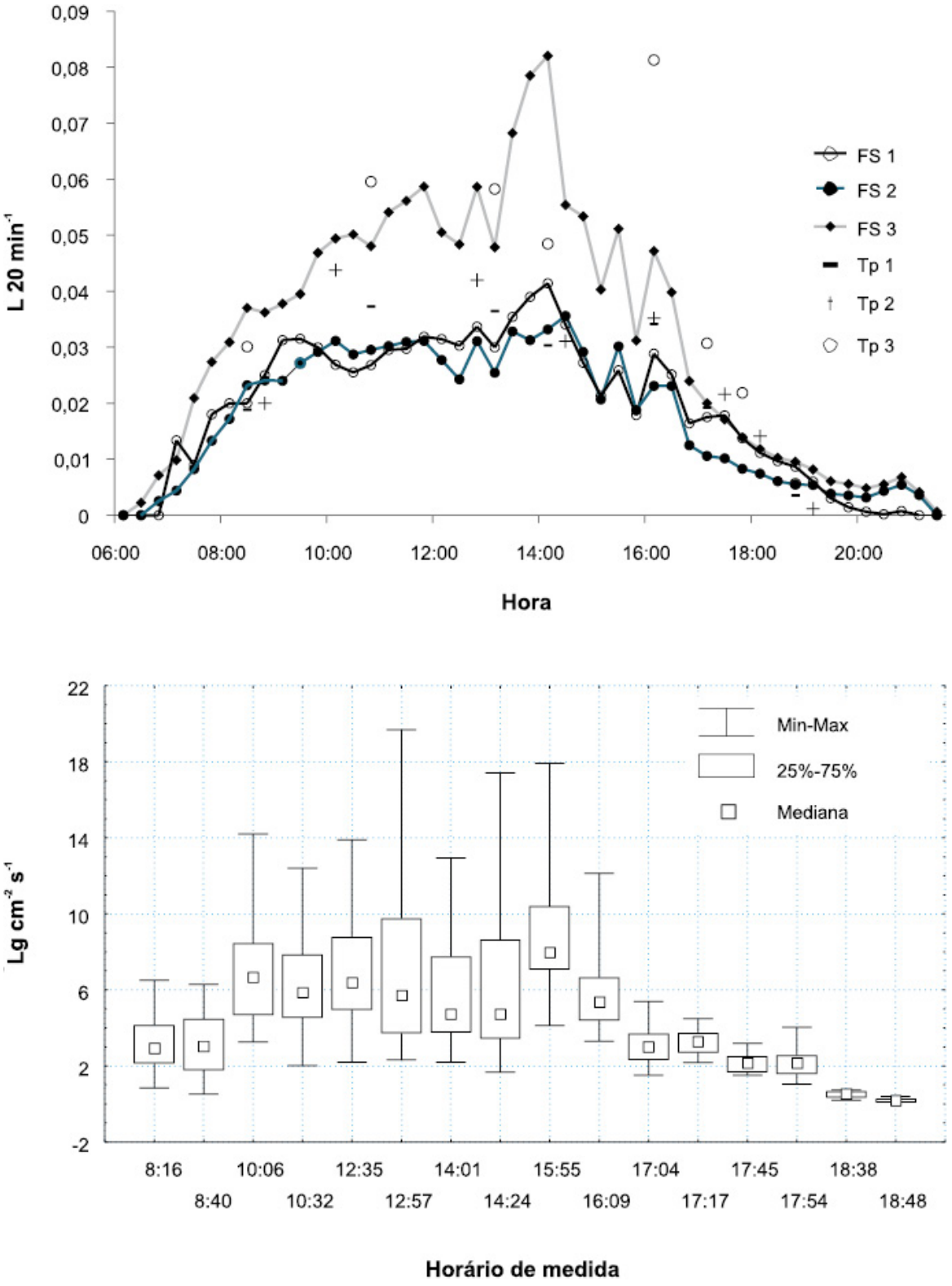


Figura 12. Curso diário do fluxo de seiva (L 20 min^{-1}) determinado pelo método do balanço de calor no caule e da transpiração (L 20 min^{-1}) determinada com o uso de porômetro de equilíbrio dinâmico, em três plantas de lima ácida 'Tahiti' em campo (A); e medidas de transpiração em folhas de lima-ácida 'Tahiti' em campo ao longo de um dia (B). Dezembro de 2001, Piracicaba, SP.

Fonte: Coelho Filho (2002).

Variações micromorfométricas de órgãos vegetais

Os estudos envolvendo a variação do crescimento e turgescência vegetal é mais uma maneira de detectar o deficit hídrico das plantas. Como verificado na Figura 12, ao longo de um dia, o balanço de água na planta pode ser positivo ou negativo, dependendo do horário e da capacidade de armazenar água nos tecidos (capacitância hídrica). Quando não há limitação de água no solo, a planta transpira potencialmente e, ao longo da fase clara do dia, o balanço hídrico é negativo, havendo contração dos caules, ramos ou frutos; porém, com a reposição hídrica noturna, observam-se valores absolutos superiores aos encontrados no início da manhã anterior em virtude do crescimento das plantas. Quando há limitação hídrica no solo, a reposição noturna de água na planta não é completa e as variações micrométricas dos órgãos das plantas diferenciam-se das observadas para as plantas sem deficiência hídrica (Figura 13).

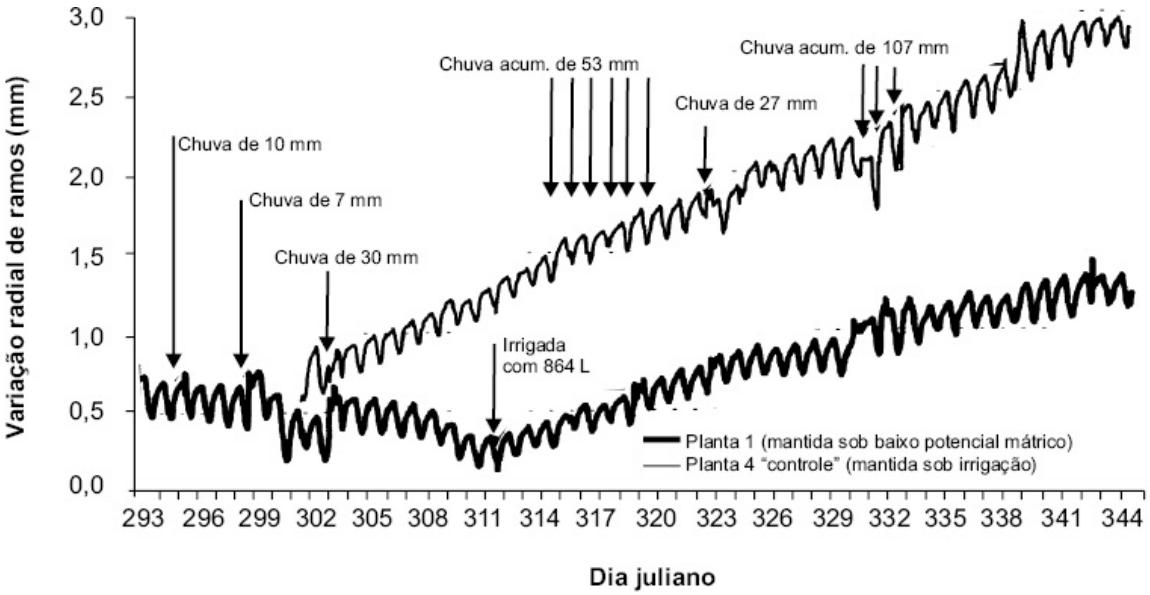


Figura 13. Variação radial de ramo de duas árvores de lima-ácida 'Tahiti' ao longo dos dias julianos 293 a 344 do ano de 2002, Piracicaba, SP.

Fonte: Delgado Rojas (2003).

A técnica de detecção de variações micrométricas de órgãos das plantas por dendrometria de elevada sensibilidade e resolução (10 μm a 100 μm) é suficiente para quantificar essas variações no balanço de água da planta, permitindo a visualização da variação diária e o acompanhamento simultâneo das variações em órgãos de plantas diferentes, e comparar com as variações dos elementos meteorológicos. Segundo Delgado Rojas (2003), um ponto desfavorável da técnica é que a representatividade da medida como indicador de deficit hídrico da planta não é universal, devendo ser determinada para a espécie em estudo a partir da sua relação com outros indicadores, como o potencial da água, a resistência estomática à difusão de vapor d'água, a transpiração da planta, e até mediante o uso de índices indiretos, como o potencial da água no solo (potencial mátrico). Somente com base nos estudos comparativos envolvendo plantas com e sem deficiência hídrica, é possível se estabelecerem os critérios sobre como a variação de diâmetro pode ser utilizada como indicador do momento da irrigação.

Diferença de temperatura folha-ar

A temperatura da folha é dependente do seu balanço de energia. Uma folha absorve parte da radiação de ondas curtas (solar) e quase toda a radiação de ondas longas (infravermelha térmica) do ambiente, representando os seus ganhos energéticos. Ela armazena um valor relativamente desprezível dessa energia (principalmente de forma metabólica, como na fotossíntese) e dissipa energia na forma de emissão radiante (infravermelha térmica), de calor latente de vaporização (transpiração) e de convecção/condução de calor, tendendo a manter-se em equilíbrio térmico com o meio. Quando a planta está em boa disponibilidade hídrica, boa parte do calor é dissipada na forma de calor latente de evaporação (transpiração), promovendo o resfriamento da superfície foliar. Quando há limitação no fornecimento hídrico e a planta entra em deficit, diminui o calor dissipado pela transpiração, tendendo ao aumento da temperatura foliar até um valor máximo obtido quando a planta está em máxima deficiência hídrica, aumentando proporcionalmente os processos de condução/convecção de calor (calor sensível). Desse modo, a temperatura da folha, ou mais especificamente, a diferença entre sua temperatura e a do ambiente é reconhecidamente um indicador de deficit hídrico da planta.

A relação entre o grau de deficit hídrico e a diferença térmica entre folha e ambiente não é simples, pois o balanço global de energia da folha depende de variáveis como o deficit de pressão de vapor d'água do ar, o saldo de radiação e a velocidade do vento, o que exige que sejam encontradas relações entre essas variáveis. A Figura 14, por exemplo, apresenta a relação entre a diferença de temperatura entre folha e ar, associada à variação do deficit de pressão de vapor do ar (DPV), as quais mostram uma relação linear quando ocorre transpiração potencial (sem estresse hídrico), sendo denominadas de "linhas-base" *baselines*,

permitindo o cálculo de um índice denominado de “graus-dia de estresse hídrico” (IDSO et al., 1977, 1981, 1982). Índices correlatos, mas que levam em conta efeitos, por exemplo, da velocidade do vento, são usados como o índice de estresse hídrico da cultura (*IEHC*), tratado teoricamente por Jackson (1982).

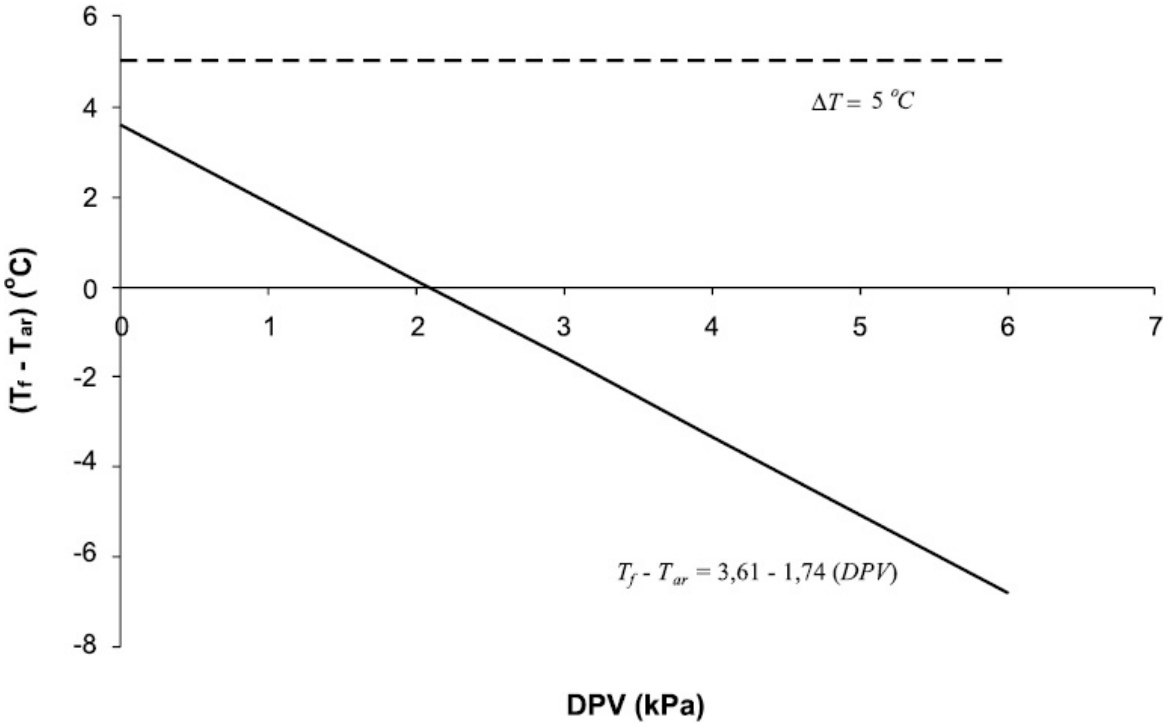


Figura 14. Relação entre temperatura do dossel vegetativo (T_f), temperatura do ar (T_{ar}) e deficit de pressão de vapor (DPV) em plantas de lima em deficiência hídrica (linha tracejada) e sem deficiência hídrica (“linha-base” sem estresse).

Fonte: adaptado de Sepaskhah e Kashefipour (1994).

A temperatura do dossel vegetativo pode ser obtida com o uso de pequenos termopares aderidos a número representativo de folhas da planta avaliada, procedimento que é inviabilizado na prática quando a planta possui elevada área foliar. De maneira geral, os estudos são realizados com o uso de termômetro por detecção de infravermelho, que mede a temperatura do dossel à distância, ou seja, a temperatura radiante, sendo necessários cuidados com o uso dessa técnica para que sejam obtidas medidas representativas.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMEGLIO, T.; ARCHER, P.; COHEN, M.; VALANCOGNE, C.; DAUDET, F.; DAYAU, S.; CRUIZIAT, P. Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. **Plant and Soil**, Petrória, v. 207, p. 155-167, 1999.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**. Piracicaba: Ed. do autor, 2002. 268 p.

ANGELOCCI, L. R. **Métodos e técnicas de estudo das relações água-planta-atmosfera**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2001. 104 p.

ANGELOCCI, L. R.; NOVA, N. A. V.; COELHO FILHO, M. A. Relações entre o saldo de radiação na copa da árvore e a irradiância solar global em pomar de lima ácida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBA, 2001. p. 817-818.

ANGELOCCI, L. R.; VALANCOGNE, C. Leaf area and water flux in apple trees. **Journal of Horticultural Science**, Ashford Ken, v. 67, n. 2, p. 299-307, 1993.

BAKER, J. M.; BAVEL, C. H. M. van. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, p. 777-782, 1987.

BARRS, H. D. Comparison of x-ater potentials in leaves as measured by tN-o types of thermocouple psychrometer. **Australian Journal of Biological Sciences**, Victoria, v. 18, p. 36-52, 1965.

BASSOI, L. H.; ALENCAR, C. M.; TEIXEIRA, A. H. C. Root distribution analysis of date palms and soil water dynamics analysis in northeastern Brazil as a guide to irrigation depth. In: INTER REGIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT-WATER: INNOVATIVE ISSUES IN IRRIGATION AND DRAINAGE, 1., 1998, Lisboa. **Additional Papers**... Lisboa: ICID, 1998, p. 342-349.

BASSOI, L. H.; FLORI, J. E.; ALENCAR, C. M.; RAMOS, C. M. C. Distribuição espacial do sistema radicular da pupunheira em solos irrigados no Vale do São Francisco. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 163-176, 1999.

BASSOI, L. H.; FLORI, J. E.; SILVA, E. E. G.; SILVA, J. A. M. Guidelines for irrigation scheduling of peach palm for heart-of-palm production in the São Francisco Valley, Brazil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.21, n.4, p. 683-687, 2003a.

BASSOI, L. H.; GRANGEIRO, L. C.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G. Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 35-38, 2002a.

BASSOI, L. H.; RESENDE, G. M.; FLORI, J. E.; SILVA, J. A. M.; ALENCAR, C. M. Distribuição radicular de cultivares de aspargo em áreas irrigadas de Petrolina-PE. **Horticultura Brasileira**,

Brasília, DF, v. 19, n. 1, p. 17-24, 2001.

BASSOI, L. H.; CARVALHO, A. M. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho com e sem irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 283-287, 1992.

BASSOI, L. H.; HOPMAMS, J. W.; JORGE, L. A. C.; ALENCAR, C. M.; SILVA, J. A. M. Grapevine root distribution for drip and microsprinkler irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 377-387, 2003b.

BASSOI, L. H.; REICHARDT, K. Lixiviação de nitrato em terra roxa estruturada latossólica cultivada com milho fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 329-335, 1995.

BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. C.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G.; RAMOS, C. M. C.; TARGINO, E. L.; MAIA, J. L. T.; FERREIRA, M. N. L.; SEDIYAMA, G. Parâmetros para o manejo de irrigação da bananeira no Vale do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais**... Salvador: SBEA, 2002b. 1 CD-ROM.

BEN-ASHER, J.; LOMEN, D. O.; WARRICK, A. W. Linear and nonlinear models of infiltration from a point source. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 3-6, 1978.

BERNARDES, M. S.; GOUDRIAAN, J.; CÂMARA, G. M. S.; DOURADO NETO, D. Interações acima e abaixo da superfície do solo em sistema agroglorestal (*Hevea brasiliensis*) e soja (*Glyxine Max*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: SBA, 1997. p. 549-551.

BERNARDES, M. S.; LIMA, S. F. F. Densidade populacional, disposiçaõ e direção de linhas de plantio, manejo da copa: a luz como fator essencial. In: CURSO DE AUTUALIZAÇÃO EM RELAÇÕES SOLO-PLANTA-ATMOSFERA. Piracicaba: ESALQ, 2000. 55 p.

BOYER, J. S. **Measuring the water status of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 178 p.

BOYER, J. S. Photosynthesis at low water potentials. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, GB, v. 273, p. 501-512, 1976.

BRANDT, A.; BRESLER, E.; DINER, N.; BEN-ASHER, I.; HELLER, J.; GOLDBERG, D. Infiltration from a trickle source: I. mathematical models. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 35, p. 675-682, 1971.

BRAUN, P.; MAURER, B.; HEINEMANN, G. Scaling transpiration in apple orchards: meteorological versus plant based physiological measurements. **Acta Horticultural**, The Hague, v. 537, p. 45-51, 2000.

BRESLER, E. Analysis of trickle irrigation with aplication to design problems. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 1, p. 3-17, 1978.

BRESLER, E.; RUSSO, D. Two-dimensional transport of solutes during nonsteady infiltration from a trickle source. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 39, p. 604-613. 1975.

CARNAHAN, B.; LUTHER, H. A.; WILKES, J. O. **Applied numerical methods**. New York: John Wiley & Sons, 1969. 625 p.

CARVALHO, R. I. N. Fisiologia de produção de espécies frutíferas. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. **Fisiologia vegetal**: produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat, 2002. p.135-181.

CASTEL, W. A. Citrus root systems: their structure, function, growth, and relationship to tree performance. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, Tokyo, JP, v. 62, p. 62-69, 1978.

CERMAK, J.; KUCERA, J.; ZIDECK, V. Xylem water flow in crack willow tree (*Salix fragillis* L.) in relation to to diurnal changes of environment. **Oecologia**, Berlim, DE, v. 64, p. 145-151, 1984.

CHONÉ, X.; LEEUWEN, C. van; DUBOURDIEU, D.; GAUDILLÈRE, J. P. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. **Annals of Botany**, London, GB, v. 87, p. 477-483, 2001.

CHOUDHURY, E. N.; MILLAR, A. A.; CHOUDHURY, M. M.; ABREU, T. A. S. Diferentes níveis de irrigação na produção e sistema radicular do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, n. 4, p. 475-480, 1980.

CHOUDHURY, E. N.; MORGADO, L. B.; ANJOS, J. B. **Efeito do manejo do solo na compactação e produção de melancia irrigada**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1986. 24 p. (Boletim de pesquisa, 29).

CINTRA, F. L. D.; LEAL, M. L. S.; PASSOS, E. E. M. **Avaliação da distribuição do sistema radicular de coqueiros anões**. Aracaju: EMBRAPA-CNPCO, 1992. 8 p. (Comunicado técnico, 36).

COELHO FILHO, M. A. **Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida 'Tahiti' (Citrus latifólia Tan.) e sua relação com a evapotranspiração de referência**. 2002. 91 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COELHO FILHO, M. A.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Transpiração máxima de plantas de mamão (Carica Papaya L.) em pomar fertirrigado, nas condições de Cruz das Almas BA. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003. Juazeiro. **Anais**... Viçosa: ABID, 2003. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; ALVES, A. A. C.; LORDELO, C. M. M.; QUEIROZ, J. S. Produção do mamoeiro cultivar Tainung nº 1 sob diferentes regimes de irrigação em condições semi áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém **Anais**... Belém: SBF, 2002. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, D. M. Distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada em solo arenoso de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 250-256, 2001.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. das C. O.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L. Distribuição de raízes de laranja 'Pera' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 5, p. 603-611, 2002.

COELHO, E. F.; OR, D. A parametric model for two-dimensional water uptake by corn roots under drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1039-1049, 1996.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação em solos de Tabuleiros Costeiros. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Juazeiro: ABID, 2003. 1 CD ROM.

COHEN, Y; FUCHS, M.; GREEN, G. C. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 4, p. 391-397, 1981.

CORREA, L. S. **Distribuição do sistema radicular de cultivares de abacateiro (*Persea* spp.) num solo podzólico vermelho amarelo**. 1982. 45 f. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DELGADO ROJAS, J. S. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação.** 2003. 110 f. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo Piracicaba.

DENMEAD, O. T.; SHAW, R. H. Avaliability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 45, p. 385-390, 1962.

DIRKSEN, C. **Soil physics measurements**. Reiskirchen: Catena Verlag, 1999. 154 p.

DOMINGO, R.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; TORRECILLAS, A. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. **Irrigation Science**, New York, v. 16, p. 115-123, 1996.

FONSECA, N. **Paclobutrazol e estresse hídrico no florescimento e produção da mangueira (*Mangifera indica* L.) ´Tommy Atkins´**. 2002. 117 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras

GARDNER, W. R. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from water table. **Soil Science**, Baltimore, v. 85, p. 228-232, 1958.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; CASTEL, J. R. Regulated deficit irrigation in ‘Clementin a Nules’ citrus tree. I Yield nad fruit quality effects. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford Kent, v. 74, n. 6, p. 706-713, 1999.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestiers**, Nancy, v. 42, p.193-200, 1985.

GREBET, P.; CUENCA, R. H. History of lysimeter design and effects of environmental disturbances. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. (Ed.) **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 11-18.

HEALY, R. W.; WARRICK, A. W. A generalized solution to infiltration from a surface point source. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1245-1251, 1988.

HO, L. M. The physiological basis for improving dry matter content and calcium status in tomato fruit. **Journal Applied Agricultural Research**, [S. l.], n. 3, p. 275-28l, 1988.

HONERT, T. H. van der. Water transport in plants as a catenary process. **Discussions of the Faraday Society**, London, GB, v. 3, n. 3-4, p. 146-153, 1948.

HOWELL, T. A.; SCHINEIDER, A. D.; DUSEK, D. A.; MAREK, T. H.; STEINER, J. L. Calibration and scale performance of Bushland weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 38, n. 4, p. 1019-1024, 1995.

IDSO, S. B. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, NL, v. 27, p. 59-70, 1982.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; PINTER JUNIOR, P. J.; REGINATO, R. J.; HATFIELD, J. L. Normalizing the stress degree day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, NL, v. 24, p. 45-55, 1981.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; REGINATO, R. I. Remote sensing of crop yelds. **Science**, Washington, DC, v. 196, p. 19-25, 1977.

JACKSON, R. D. Canopy temperature and crop water stress. In: HILLEL, D. **Advance in irrigation**. New York: Academic Press, 1982, v. 1, p. 43-85.

JARVIS, N. J. A simple empirical model of root water uptake. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, NL, v. 107, p. 57-72, 1989.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.

JONES, H. G. **Plants and microclimate**: a quantitative approach to environmental plant physiology. New York: Cambridge University Press, 1992. 428 p.

JONES, H. G.; LAKSO, A. N.; SYVERTSEN, J. P. **Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees**. Horticultural Reviews, Westport, v. 7, p. 301-344, 1985.

JONES, H. G.; TARDIEU, F. Modelling water relations of horticultural crops: a review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, NL, v. 74, p. 21-46, 1998.

KOIDE, R. T.; ROBICHAUSX, R .H.; MORSE, S. R.; SMITH, C. M. Plant water status, hydraulic resistence and capacitance. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A.; RUNDEL, P. W. (Ed.). **Plant physiological ecology**: field methods and instrumentation. London, GB: Chapman & Hall, 1989. p. 161-183.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489 p.

KRAMER, P. J.; BOYER, J .S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of wood plants**. Orlando: Academic Press, 1979. 811 p.

KRIEDMANN, P. E.; BARRS, H. D. Citrus orchards. In: KOZLOWSKi, T. T. (Ed). **Water deficits and plant growth**. London, GB: Academic Press, 1981. p. 325-417.

KUTILEK, M.; NIELSEN, D. R. **Soil hydrology**. Cremlingen: Catena-Verlag, 1994. 370 p.

LAFOLIE, F.; GUENNELON, R.; GENUCHTEN, M. T. Van. One-dimensional solute transport modelling in aggregated porous media Part 1. Model description and numerical solution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 1318-1323, 1989.

LARCHER, W. **Ecofisiología vegetal**. Barcelona: Omega, 1977. 305 p.

LEVITT, J. Resistance to water transport in plants. **Nature**, London, GB, v. 212, p. 527, 1966.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Ed. do autor, 1995. 497 p.

LOMEN, D. O.; WARRICK, A. W. Time-dependent linearized infiltration: II. Line sources. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 38, p. 568-572, 1974.

MACHADO, C. C. **Influência da irrigação localizada na absorção de água do porta-enxerto limão "Cravo" em plantas adultas de lima ácida "Tahiti"**. 2000. 92 f. Tese (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C. Sap flow and evapotranspiration in an irrigated citrus orchard. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 219-226, 2001.

MARLER, T. E.; GEORGE, A. P.; NISSEN, R. J.; ANDERSON, P. C. Miscellaneous tropical fruits. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Ed). **Handbook of environmental physiology of fruit crops volume II**: sub-tropical and tropical crops. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 189-224.

NAOR, A. Relations between leaf and sten water potentials and stomatal conductance in three field-grown woody species. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford Kent, v. 73, p. 431-436, 1998.

NAOR, A.; KLEIN, I.; DORON, I. Stem water potential and apple fruit size. **Journal of the American Society for Hoticultural Science**, Stanford, v. 120, p. 577-582, 1995.

NEUMAN, S. P.; FEDDES, R. A.; E.; BRESLER, E. Finite element analysis of two dimensional flow in soil considering water upptake by roots:I. theory. **Soil Sciece Societ of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 224-230, 1975.

NEVES, C. S. V. J.; BORGES, A. V.; KANAI, H. T.; PRETE, C. E. C.; PIPOLO, V. C. Distribuição do sistema radicular de cultivares de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 112-115, 2001.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press, 1999.

OLIVEIRA, R. F. de. **Desenvolvimento e análise de desempenho de um sensor de fluxo para avaliação de transpiração vegetal pelo método de balanço de calor**. 1997. 73 f. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OR, D.; WRAITH, J. M. **Agricultural and enviromental soil physics**. Logan: Utah State University, 1997. 218 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Piracicaba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PHILIP, J. R. General theorem on steady state infiltration from surface sources, with application to point and line sources. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 867-871, 1971.

PHILIP, J. R.; KNIGHT, J. H. Redistribution of soil water from plane, line, and point sources. **Irrigation Science**, New York, v. 12, p. 169-180, 1991.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150 p.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: USP-ESALQ-Depto Física e Meteorologia, 1996. 505 p.

RISSE, L. M.; CHESNESS, J. L. A simplified design procedure to determine the wetted radius for a trickle emitter. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 32, n. 6, p. 1909-1914, 1989.

RUSSO, D. Determining soil hydraulic properties by parameter estimation: on the selection of a model for hydraulic properties. **Water Resources Reserch**, Washington, DC, v. 24, p. 453-459, 1988.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, JP, v. 37, n. 1, p. 9-17, 1981.

SALLES, R. F. M. Fisiologia de produção de olerícolas. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. **Fisiologia vegetal**: produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat, 2002. p. 183-203.

SANTOS, C. R.; SILVA, J. A. M.; SANTOS, R. C.; MENDONÇA, C. E. S. Estudo de raízes de coqueiro anão verde em Neossolos Quartzarênicos da Fazenda São João, em Petrolina - PE. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Juazeiro: ABID, 2003. 1 CD-ROM.

SCHAFFER, B. Flooding responses and water-use eæciency of subtropical and tropical fruit trees in an environmentally-sensitive wetland. **Annals of Botany**, London, GB, v. 81, p. 475-481, 1998.

SCHWARTZMAN, M.; ZUR, B. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 112, n. 3, p. 242-253, 1985.

SEN, H. S.; PAUL, D.; BANDYOPADHYAY, K.; DASH, N. B. A simple numerical solution for two-dimensional moisture distribution under trickle irrigation. **Soil Science**, Baltimore, v. 154, n. 5, p. 350-356, 1992.

SEPASKHAH, A. R.; KASHEFIPOUR, S. M. Relationship between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, NL, v. 25, p. 13-22, 1994.

SILVA, C. A. S.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, R. D.; CINTRA, F. L. Avaliação da distribuição do sistema radicular da cultura da manga (Mangifera indica L.) por meio de imagens digitais. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 10, n. 2, p. 1-8, 1999.

SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. da S.; COELHO FILHO, M. A. Efeito da temperatura do ar e de diferentes lâminas de irrigação sob o índice de floração e pegamento de frutos do

mamoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Juazeiro: ABID, 2003. 1 CD-ROM.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; SILVA, J. A. M. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 456-462, 2001.

SLAVIK, B. **Methods of studyng plant water relations**. Berlim, DE: Springer Verlag, 1975. 449 p.

SIMUNEK, J.; SUAREZ, D. L. Modeling of carbon dioxide transport and production in soil: 1. Model development. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 29, p. 487-497, 1993.

SMITH, M. **Report on the expert consultation of proceedures for revision of FAO Guidelines for prediction of crops water requirements**. Rome, IT: FAO, 1991. 45 p.

SINCLAIR T. R.; LUDLOW M. M. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 12, p. 213-217, 1985.

SOUSA, V. F. **Níveis de irriação e doses de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo (Passiflora edulis Sims. f. flavicarpa Deg.)**. 2000. 187 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba .

SOUSA, V. F.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Distribuição radicular do maracujazeiro sob diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n.1, p. 51- 56, 2002.

STEINBERG, S.; BAVEL, C. H. M. van; CORNELIUS, H. M. A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunks of wood plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science***,* Mount Vernon, v. 114, n. 3, p. 466-472, 1989.

SUTCLIFFE, J. **As plantas e a água**. São Paulo: EPU, 1980. 124 p.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Ed). **Handbook of environmental physiology of fruit crops volume II**: sub-tropical and tropical crops. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 65-101.

TAGHAVI, S. A.; MARIÑO, M. A.; ROLSTON, D. E. Infiltration from trickle irrigation source. **Journal of Irrigation and Drainage Engineer**, New York, v. 110, n. 4, p. 331-341, 1984.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792 p.

TREJO-CHANDIA, J. E.; ANGELOCCI, L. R.; OLIVEIRA, R. F. Aplicação do método de balanço de calor na determinação da transpiração de mudas de limoeiro. **Scientia Agricola***,* Piracicaba, v. 54, n .3, p. 221-231, 1997.

VALANCOGNE, C.; DAYAU, S.; AMEGLIO, T.; ARCHER, P.; DAUDET, F. A.; GAMA, M. I. F.; COHEN, M. Relations between relative transpiration and predawn leaf water potential in different fruit tree species. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 2, n. 449, p. 423-429, 1996.

VALANCOGNE, C.; NASR, Z. Measuring sap flow in the stem of small trees by a heat balance method. **Hortscience**, Alexandria, v. 24, n. 2, p. 383-385, 1989.

WARRICK, A. W. Time-dependent linearized infiltration. I. Point sources. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 38, p. 383-386, 1974.

WARRICK, A. W.; AMOOZEGAR-FARD, A.; LOMEN, D. O. Linearized moisture flow from line sources with water extraction. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 22, p. 549-553, 1979.

WARRICK, A. W.; LOMEN, D. O.; AMOOZEGAR-FARD, A. Linearized moisture flow with root extraction for three dimensional, steady conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 9 11-914, 1980.

WHILEY, A. W.; SCHAFFER, B. Avocado. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops volume II**: sub-tropical and tropical crops. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 3-35.

WOODING, R. A. Steady infiltration from a shallow circular pond. **Water resources Research**, Washington, DC, v. 4, p. 1259-1273, 1968.

WRIGHT, J. L. Using weighing lysimeters to develop evapotrasnpiration crop cofficients. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. (Ed.). **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 191-199.

Capítulo 2

O processo de evapotranspiração

Maurício Antonio Coelho Filho
Francisco Adriano de Carvalho Pereira
Luiz Roberto Angelocci
Eugênio Ferreira Coelho
Greice Ximena Santos Oliveira

Definições e conceitos

O consumo de água de uma cultura normalmente refere-se à água transferida para a atmosfera pelos processos de evaporação da superfície do solo e pela transpiração da planta, ou seja, à evapotranspiração.

Em razão da grande diversidade de termos existentes na literatura, utilizados na definição do processo de evapo(transpi)ração, muitas dificuldades têm surgido para a compreensão desse importante fenômeno de transformação física. Dessa maneira, faz-se necessário um conhecimento claro a respeito de definições, quando se trata da quantificação da evapotranspiração e do requerimento de água das culturas, viabilizando o intercâmbio de trabalhos realizados em condições diferentes.

A evapotranspiração pode ser definida como a soma da quantidade de água perdida por uma superfície coberta com vegetação, por meio da evaporação direta da superfície do solo e da água perdida pelas plantas por transpiração.

O termo evapotranspiração potencial (ETp) foi introduzido na literatura especializada por Thornthwaite (1948), que a definiu como a água utilizada por uma extensa área vegetada, em crescimento ativo e cobrindo totalmente a superfície do terreno, em condições ótimas de umidade do solo. Posteriormente, Penman (1956) estabeleceu que o tipo de vegetação a ser tomada como referência deveria ser baixa e de altura uniforme, sendo a grama adotada como padrão, em virtude da sua utilização como cobertura do solo em estações meteorológicas. Jensen et al. (1971) introduziram o termo evapotranspiração de referência (ETo), utilizando as condições de contorno propostas por Thornthwaite e aplicando-as à cultura da alfafa (*Medicago sativa L.*), com altura de 0,3 m a 0,5 m, numa dada condição climática, com área tampão de 100 m aproximadamente. Uma das razões apresentadas para a escolha da alfafa como cobertura vegetal de referência é o argumento de que o seu porte seria mais representativo das condições aerodinâmicas de outras culturas em comparação à grama com o seu porte rasteiro.

Entretanto, Doorenbos e Pruitt (1977) apresentaram a definição para a evapotranspiração de referência como sendo aquela que ocorre em uma extensa superfície gramada, com altura de 0,08 m a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem restrições hídricas. Em essência, pode-se verificar que os conceitos de evapotranspiração de referência e evapotranspiração potencial (ETp) são muito próximos, diferenciando-se nas particularidades apresentadas, cujas ETp ou ETo são variáveis

dependentes somente das condições de demanda atmosférica. Vale ressaltar, porém, que os valores obtidos com a utilização da alfafa podem diferir substancialmente dos encontrados com a grama, em razão das diferenças de rugosidade e albedo das suas superfícies.

Buscando apresentar uma padronização para a definição da evapotranspiração de referência e visando, principalmente, à utilização do modelo de Penman-Monteith, Smith (1991) apresentou uma conceituação da ETo como aquela que ocorre em uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, poder refletor (albedo) de 23% e resistência difusiva do dossel ao transporte de vapor d'água de 69 s m^{-1}. Essa proposição coincide com a evapotranspiração de uma superfície coberta com grama, em crescimento ativo e sem restrições de água no solo.

A evapotranspiração real (ETr) foi conceituada originalmente por Thornthwaite como sendo aquela que ocorre na superfície vegetada, — por ele definida quando da apresentação do conceito de ETp –, mas em qualquer condição de água no solo, incluindo então a faixa de água disponível em que ocorre deficiência hídrica. Posteriormente, essa definição foi estendida para a perda de água que ocorre numa superfície vegetada, sem imposição de qualquer condição de contorno. Portanto, a ETr independe do porte da vegetação, da sua área de bordadura e das condições de disponibilidade de água no solo.

Em locais onde existe uma pequena área irrigada em torno de uma grande área seca, ou quando a área de bordadura não é suficiente para eliminar os efeitos advectivos do calor sensível, pode ser verificada a ocorrência de valores de evapotranspiração superiores

à ETp, recebendo, nessas condições, a denominação de evapotranspiração de oásis (ETo).

Durante os diferentes estádios fenológicos das culturas e sua ocupação na área disponível, ocorre a chamada evapotranspiração da cultura (ETc), também denominada de evapotranspiração máxima (ETm), pois ela é definida para condições específicas que não afetam o crescimento/desenvolvimento da cultura, ou seja, não ocorrência de pragas e doenças, deficiências nutricionais e hídricas, estando o solo com água facilmente disponível. Apesar de sua determinação ser difícil e muitas vezes inexata, a ETc é muito importante para um bom dimensionamento de projetos de irrigação, visto que ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção da cultura em condições ideais.

Além das condições meteorológicas, a ETc é dependente da área foliar da cultura (AF), ou seja, da sua superfície evapotranspirante, e pode ser relacionada à evapotranspiração de referência por um coeficiente de cultura (Kc):

$$ETc = Kc \times ETo \quad (1)$$

O valor de Kc varia ao longo do ciclo de uma cultura, desde um valor inicial (normalmente entre 0,2 e 0,3), crescendo linearmente até passar por um máximo (Kc da fase intermediária em torno de 1,1 a 1,2) quando da ocorrência do máximo crescimento de área foliar, diminuindo depois com a senescência de folhas e maturação da cultura (Kc final), acompanhando a variação da área foliar por unidade de área de terreno ou índice de área foliar (IAF) e, portanto, da fração de solo coberto e da fração molhada. Outros fatores, tais como as diferenças na anatomia da folha, nas características dos

estômatos, nas propriedades aerodinâmicas (altura das plantas) e no albedo, fazem que a ETc seja substancialmente diferente da ETo (afetando o valor de Kc), até nas mesmas condições climáticas e de mesma área foliar. Em vários trabalhos (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; PRUITT, 1977; JENSEN et al., 1990; PEREIRA et al., 1997), são discutidos valores indicativos de Kc para um grande número de culturas e as aproximações que eles contêm. Em resumo, utilizam-se os denominados "Kc simples", cujos valores únicos conjugam diretamente a transpiração e a evaporação (equação 01), e os chamados "Kc compostos" de um valor basal (Kcb) referente à transpiração da cultura e um Kc de evaporação do solo (Ke) (ALLEN et al., 1998; SENTELHAS, 2001):

$$ETc = (Kcb + Ke)\, ETo \tag{2}$$

Quando a cultura fica em condições de umidade do solo abaixo de um ponto crítico, tem-se a evapotranspiração real menor do que a ETc, que pode ser ajustada (evapotranspiração da cultura ajustada, ETc_{ajust}) por um coeficiente de estresse Ks, tal que:

$$ETc_{ajust} = Kc \times Ks \times ETo \tag{3}$$

em que Ks toma valores inferiores a 1, dependentes da umidade do solo, normalmente em variação linear desde a faixa de água no solo facilmente disponível (onde Ks = 1) até Ks = 0 na umidade do ponto de murcha permanente.

Quantificação da evapotranspiração

Para fins de aplicações em irrigação e climatologia, a evapotranspiração é quantificada como a perda de determinado volume de água em área unitária, ou seja, representando uma altura ou lâmina de água expressa em milímetros por unidade de tempo. Considerando-se perda de 1 litro de água de uma superfície com área igual a 1 m^2, tem-se que:

$$ET = 1\ L \times 1\ m^{-2} = 1.000\ cm^3 \times 10.000\ cm^{-2} = 0{,}1\ cm = 1\ mm$$

Para uma superfície de 1 ha (10.000 m^2), uma ET = 1 mm (0,001 m) vai corresponder a um volume de água de :

$$0{,}001\ m = V/10.000\ m^2 \rightarrow V = 10\ m^3$$

ou seja, 1 mm dia^{-1} corresponde a 10 m^3 ha^{-1} dia^{-1}.

Sendo um processo que envolve uso ou dissipação de energia líquida disponível, a evapotranspiração pode ser expressa em termos de calor latente de vaporização (λ), cujos valores dependem da temperatura ambiente. Por exemplo, a 20 °C, λ = 2,45 MJ kg^{-1}, enquanto a 5 °C, λ = 2,48 MJ kg^{-1}. Em média, adota-se o valor de λ = 2,45 MJ kg^{-1}, o que significa que são necessários 2,45 MJ para evaporar 1 kg de água. Considerando-se a densidade da água igual à unidade, 1 kg de água corresponde a 1 litro e, portanto, para evaporar 1 mm, são necessários 2,45 MJ m^{-2}.

Determinação da evapotranspiração

Medida

Por facilidade, muitas vezes utiliza-se a medida da evaporação de tanques com área evaporante limitada para estimar a evapotranspiração pelo uso de coeficientes de passagem (“coeficientes de tanque”). Como a evaporação que ocorre em um tanque de pequenas dimensões normalmente é maior do que a de uma superfície extensa de água, são usados também coeficientes de passagem para transformar a primeira na segunda. Um tanque circular com 2 m de profundidade e 20 m^2 de área de evaporação tem sido usado como uma medida direta da “evaporação potencial” ou mesmo da “evaporação de lago”.

O tanque tipo Classe A (Figura 1) é o mais utilizado, com área circular de 1,15 m^2 e suportado por um estrado branco de madeira instalado sobre gramado.



Figura 1. Detalhe do tanque evaporimétrico tipo Classe A, com “traço tranquilizador” e parafuso micométrico.

A medida da evaporação pode ser feita manualmente, utilizando-se o parafuso micrométrico instalado em um “poço tranquilizador”, ou automaticamente, utilizando-se sensores puramente mecânicos, eletromecânicos ou eletrônicos.

As paredes expostas do tanque (sujeitas ao efeito do superaquecimento pela radiação solar e ao efeito da velocidade do vento), a perda de água pelo uso por animais e a ocorrência de evaporação noturna são fontes de variabilidade e de erros de medida. Na tentativa de diminuir os erros, é aconselhável que sejam usadas repetições tanques classe A (Figura 1).

Outros modelos de tanques evaporimétricos são utilizados com menor frequência, destacando-se o GGI3000 (circular, enterrado e com área evaporante de 0,30 m^2) e o Colorado (quadrado, enterrado e com área evaporante de 0,84 m^2).

A Figura 2 apresenta esses três tipos de tanque com suas dimensões.

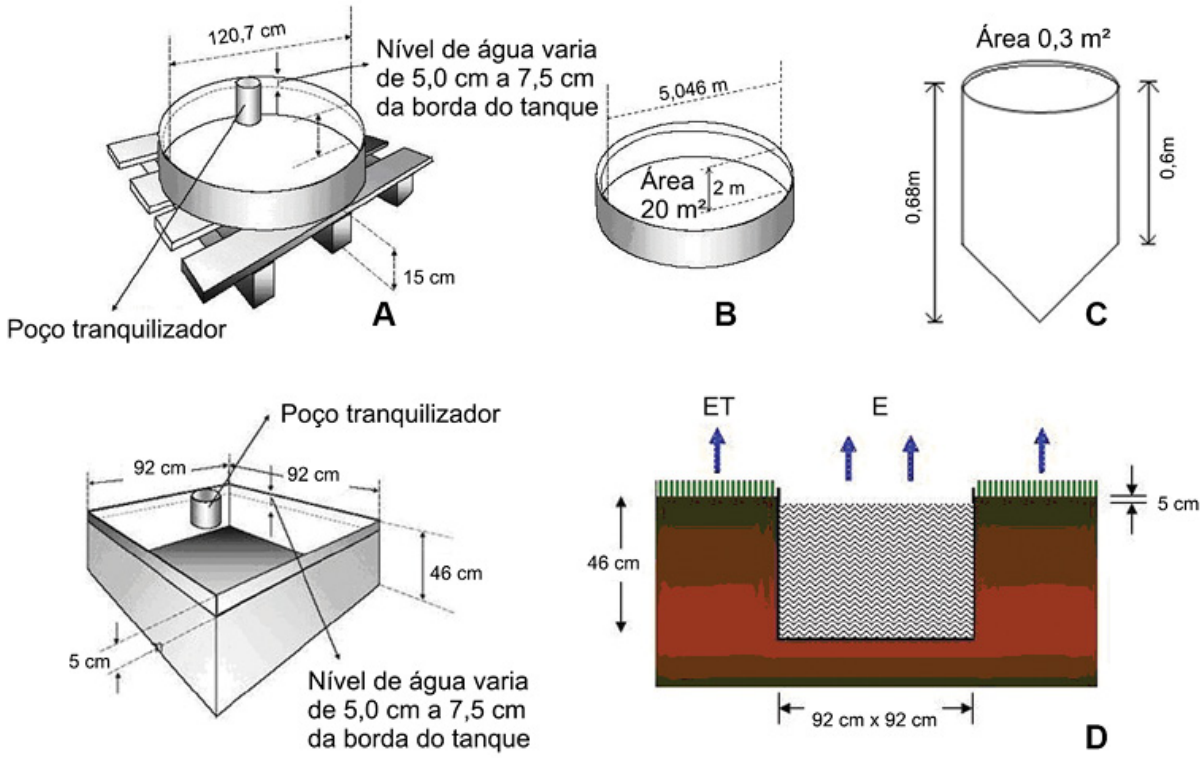


Figura 2. Tanques evaporimétricos tipo Classe A (A), Colorado (B), 20 m^2 (C) e GGI3000 (D), com respectivas dimensões.

Fonte: adaptado de Pereira et al. (2002).

A medida da evapotranspiração pode ser realizada diretamente pela determinação do balanço hídrico do solo, por lisimetria e por métodos micrometeorológicos. Entretanto, os cuidados exigidos e as dificuldades metodológicas justificam seu emprego apenas em condições experimentais.

Balanço hídrico do solo

O método de balanço hídrico do solo consiste na contabilização dos fluxos de massa (volumétricos ou expressos em lâmina de água)

das entradas e saídas de água em um volume de solo conhecido, em um dado período de tempo, representados pelo esquema da Figura 3, cujas entradas são a precipitação (P), a irrigação (I), o orvalho (O), o escoamento superficial (Ri), o escoamento subsuperficial (ou lateral, Dli) e a ascensão capilar (AC), e as saídas são a evapotranspiração (ET), o escoamento superficial (Ro), o escoamento subsuperficial (DLo) e a drenagem profunda (DP). Num intervalo de tempo Δt, o resultado da contabilização entre esses fluxos resulta em uma variação de armazenamento ΔARM, positiva, negativa ou até nula, gerando a equação final do balanço:

$$\Delta ARM = P + I + Ri + O + DLi + AC - (ET + Ro + DLo + DP) \quad (4)$$

Alguns desses fluxos são de difícil medida, como DP e AC; outros, como DL e O, podem ser considerados desprezíveis no balanço total, o mesmo acontecendo com R em certas circunstâncias, de modo que uma equação mais simples pode ser usada nessas condições:

$$\Delta ARM = P + I + AC - ET - DP \quad (5)$$

A determinação do balanço exige cuidados muito grandes, como na medida da variação do armazenamento de água, configurada a partir de perfis de umidade do solo por técnica gravimétrica, de moderação de nêutrons ou reflectometria no domínio do tempo (*time domain reflectometry – TDR*) e da drenagem profunda/ascensão capilar. Muitos desses problemas invalidam o uso da técnica para escala de tempo diária. Segundo Allen et al. (1998), alguns desses componentes são de difícil medida, especialmente DL, AC e DP, e

não podem ser obtidos para curtos períodos de tempo, o que limita a utilização desse método a períodos com mais de cinco dias.

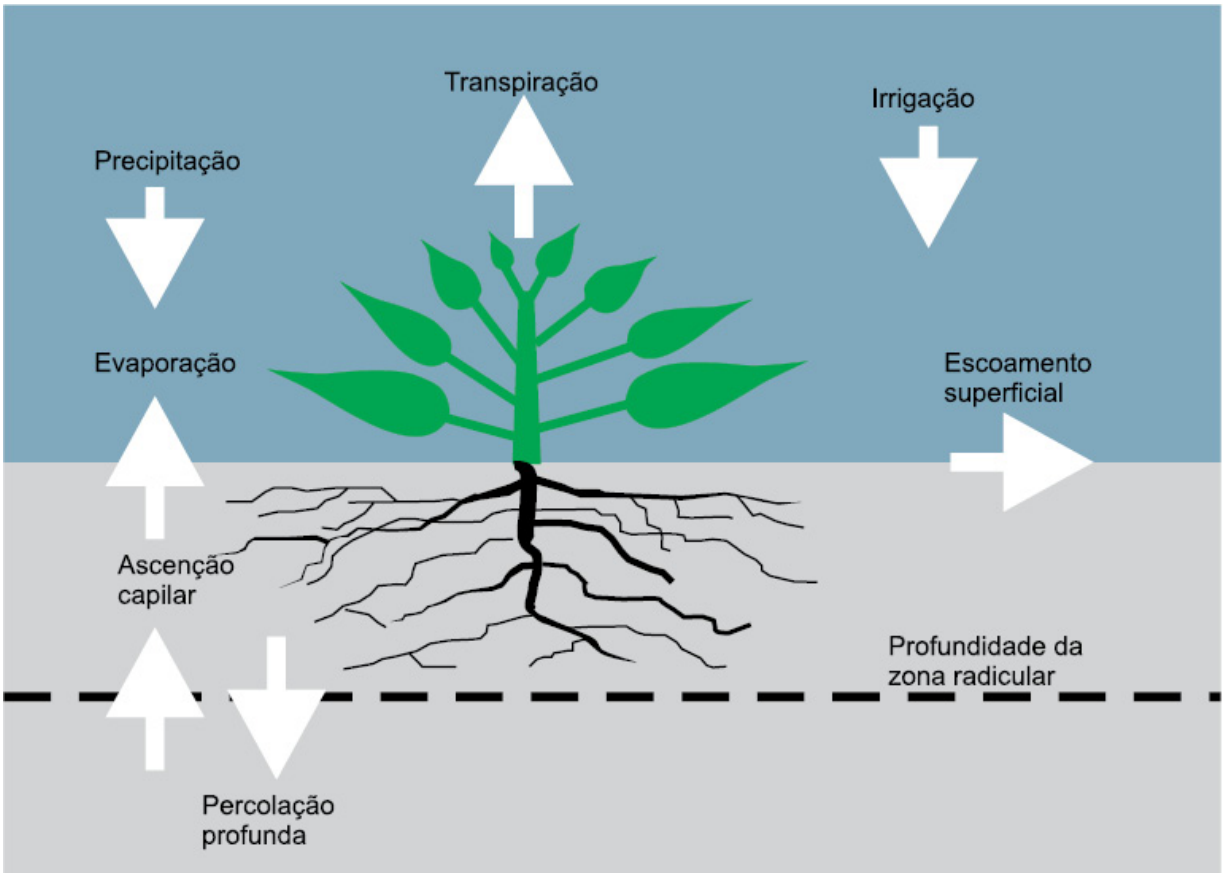


Figura 3. Esquema representativo do balanço de água no solo.

Lisimetria

A lisimetria tem sido a forma mais empregada para a obtenção direta da ET e muitas vezes adotada como referência. O lisímetro é constituído de um tanque de chapa de ferro, alvenaria, concreto, cimento-amianto, aço ou ferro, fibra de vidro e plástico reforçado, de dimensões variáveis de acordo com a cobertura vegetal usada, cujo objetivo é isolar um certo volume de solo de modo a se controlarem todas as entradas e saídas de água desse sistema (Figura 4). Para

medidas acuradas da ET, a vegetação no interior do lisímetro deve apresentar as mesmas condições (altura e área foliar) da área tampão, cujo tamanho deve ser suficientemente grande para anular os efeitos da advecção. Segundo Pereira et al. (1997), os resultados experimentais mostram que o tamanho da área tampão é bastante variável, dependendo basicamente das condições climáticas regionais, sendo necessárias apenas algumas dezenas de metros em condições de clima úmido e entre 100 m e 300 m em condições de clima seco.

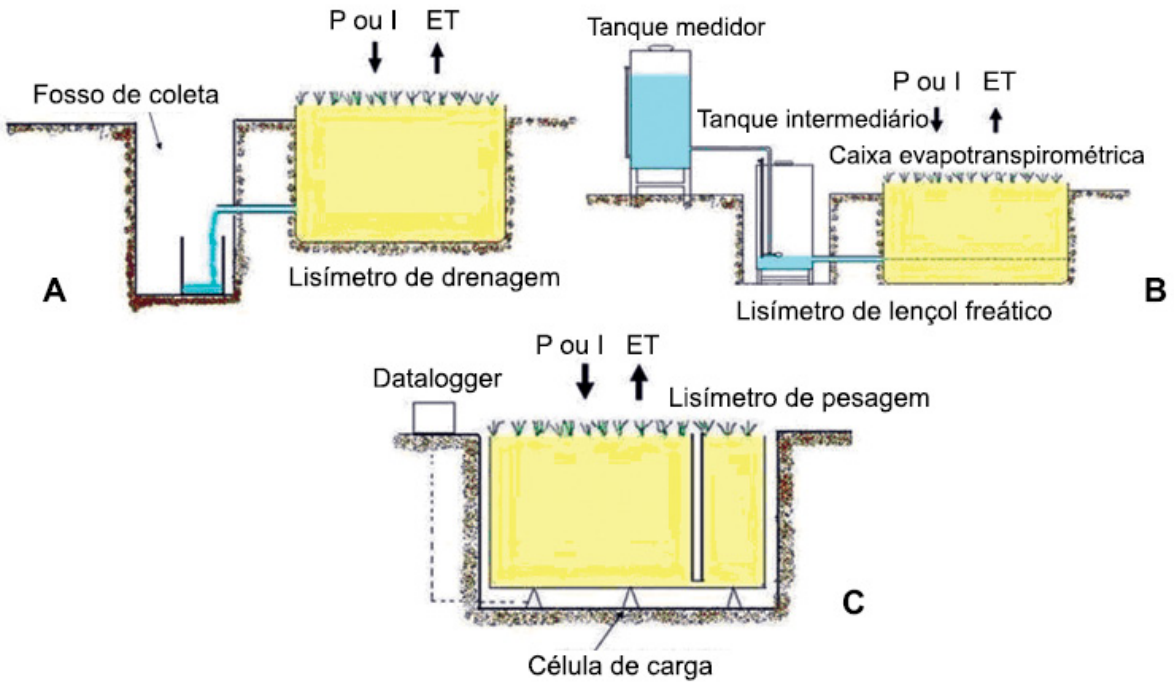


Figura 4. Representação esquemática dos lisímetros de drenagem, de lençol freático constante e de pesagem por células de carga.

Fonte: adaptado de Pereira et al. (2002).

Os lisímetros são classificados em dois grandes grupos: os que não utilizam pesagem e os que utilizam pesagem como princípio de

medida (ABOUKHALED et al., 1982). Entre os do primeiro grupo, os mais comuns são:

a. Lisímetros de drenagem (Figura 4a): baseados no princípio de conservação de massa e que funciona adequadamente em períodos longos de observação (mínimo de cinco dias). Nesse tipo, tanto a irrigação como a precipitação são mesuradas, fazendo-se a contagem do tempo a partir do momento em que cessa a drenagem, após aplicada água por irrigação ou chuva que faça o perfil de solo estar acima da capacidade de campo. Considerando-se que, toda vez que cessa a drenagem, o perfil de solo volta à situação de capacidade de campo, pode-se assumir que, entre a cessação sucessiva de duas drenagens, a variação de armazenamento no solo é nula e, não havendo AC, DL e R, a equação 5 pode ser aplicada de forma a se estimar a ET no intervalo de tempo considerado:

$$ET = P + I - DP \quad (6)$$

b. Lisímetros de lençol freático em nível constante (Figura 4b): utilizam um sistema automático de alimentação (reservatório intermediário – RI e reservatório de alimentação – RA) e registro da água reposta ($L1$ - $L2$), de modo a manter o nível do lençol freático (LF) constante, de maneira que o volume de água em determinado período de tempo que deixa o tanque alimentador e o supre, representa o volume evapotranspirado.

No segundo grupo, encontram-se os lisímetros de flutuação e os de pesagem direta. Os de uso mais comum atualmente são os de pesagem por células de carga (CC), instaladas sob o tanque com a vegetação e ligadas a um sistema de aquisição de dados (SAD) (Figuras 4c e 5), cuja ET é obtida pela diferença de peso ($P1$ - $P2$) em um dado intervalo de tempo. Neste último, a ET pode ser obtida com uma grande acurácia e para períodos muito curtos de tempo (1 hora), porém, tem como inconveniente a necessidade de drenagem da água armazenada em sua parte inferior por meio de um tubo.



Figura 5. Vista superior de lisímetros de pesagem.

Foto: Luiz Fernando Magno de Souza Campeche

Na montagem do lisímetro, o solo pode ser escavado em camadas e reposto no tanque na sequência natural existente a priori ou pode ser escavado sem perda de estrutura natural pela retirada de um monólito e sua reposição no tanque após a montagem deste. Embora de princípios simples, a lisimetria exige o observância de uma série de detalhes na montagem e na operação de lisímetros. Recomenda-se, assim, a leitura de bibliografia mais específica, como as de Aboukhlaed et al. (1982) e Allen et al. (1991).

Métodos micrometeorológicos

São métodos que utilizam medidas de variáveis atmosféricas em microescala para quantificar o fluxo de vapor d’água emitido pela

cobertura vegetal em direção à atmosfera. Normalmente são empregados em pesquisas, podendo ser usados para a medida da evapotranspiração real ocorrendo numa cobertura vegetal.

Dos três mais utilizados, dois baseiam-se na medida de gradientes de propriedades atmosféricas acima da cobertura vegetal (método aerodinâmico e método do balanço de energia-razão de Bowen).

A equação final do método aerodinâmico é:

$$\int ET = \frac{0{,}622\ \rho\ K^2 (u_2 - u_1)(e_1 - e_2)}{P\ (ln \frac{z_2}{z_1})^2} \qquad (7)$$

em que ET é a evapotranspiração (kg de vapor m^{-2} s^{-1}), ρ a densidade do ar (kg m^{-3}), K a constante de von Karman (0,41), u_1 e u_2 são a velocidade do vento (m s^{-1}) nos níveis de medida z_1 e z_2 (altura acima da cobertura vegetal em m), e_1 e e_2 a pressão de vapor d'água do ar (kPa, por exemplo) nos mesmos níveis e P é a pressão atmosférica (na mesma unidade de e_1 e e_2). O método foi descrito a partir da consideração da existência de um fluxo turbulento de ar em atmosfera neutra, de modo que, para condições de estabilidade atmosférica, há necessidade de correções envolvendo o número de Richardson.

O método de balanço de energia exige a medida do saldo de energia radiante disponível (Rn descontado do fluxo de calor no solo G, em W m^{-2}, por exemplo) e uma forma de estimar a sua partição em calor sensível S e em calor latente de vaporização LE da cobertura, utilizando-se a relação entre ambos, introduzida por Bowen em 1926 (razão de Bowen β), conforme as equações:

(8)

$$ET = \frac{Rn - G}{1 + \beta}$$

$$\beta = \gamma \frac{(T_2 - T_1)}{(e_2 - e_1)} \quad (9)$$

em que ET é a evapotranspiração (kg m^{-2} s^{-1}), γ a constante psicrométrica (0,066 kPa $°C^{-1}$), T_2 e T_1 são a temperatura e e_2 e e_1 a pressão de vapor do ar nos níveis (alturas) 1 e 2 acima da cobertura. Uma simplificação dessa expressão pode ser feita para se trabalhar somente com as diferenças de temperatura do bulbo úmido e do bulbo seco (PEREIRA et al., 1997).

Um terceiro método bastante utilizado é o de correlação de turbilhões. Como o vapor d'água e outras propriedades atmosféricas (calor sensível e momento, por exemplo) são transportados verticalmente por movimentos ascendentes e descendentes de pequenas parcelas de ar (turbilhões), é possível demonstrar pela teoria da flutuação que o fluxo vertical (transporte líquido) dessas propriedades guarda uma correlação com as flutuações da componente vertical da velocidade do vento. Portanto, por meio da medida dessas flutuações com anemômetros apropriados, de resposta muito rápida para medidas nas direções horizontal e vertical (os anemômetros sônicos são os mais usados atualmente), e da variável associada à propriedade estudada (no caso do vapor d'água, é usada a pressão atual de vapor), é possível determinar o fluxo médio vertical num intervalo de tempo, pelo uso da equação apropriada para cada propriedade, que no caso do fluxo de vapor d'água é (ROSENBERG et al., 1983):

(10)

$$E = - \frac{M_{ag}}{M_{as}\, P} \rho_{au} \overline{w' e'_a}$$

em que E é a densidade de fluxo de vapor (kg m^{-2} s^{-1}, cujo o sinal negativo convencional é para indicar o fluxo que deixa o sistema), M_{ag} e M_{as} são as massas moleculares da água e do ar, P é a pressão atmosférica , ρ_{au} a densidade do ar úmido e w' e e'_a são os desvios instantâneos em torno dos valores médios da velocidade horizontal do vento (m s^{-1}) e da pressão atual de vapor (kPa).

Esses três métodos teoricamente fornecem estimativas muito precisas do fluxo de vapor d'água de uma cobertura vegetal. Entretanto, para se ter essa precisão, é necessário que seja atendida uma série de exigências metodológicas, relativas tanto aos princípios embutidos nos métodos, quanto à instrumentação, o que os torna indicados somente para a experimentação e pesquisa. Esses detalhes dos métodos podem ser encontrados em Monteith e Unsworth (1990), Ometto (1981), Pereira et al. (1997) e Rosenberg et al. (1983).

Estimativa meteorológica da evapotranspiração de referência

Em razão do intenso uso da evapotranspiração de referência nos estudos de relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera, principalmente quando o interesse é a aplicação em irrigação, muitos métodos empíricos e semiempíricos com base em dados meteorológicos foram criados para estimá-la, como uma forma de simplificar a estimativa.

Nos itens a seguir, serão discutidos os seguintes métodos mais empregados: o de Thornthwaite, o de Camargo, o de Hargreaves-

Samani, o do tanque Classe A, o de Penman-Monteith e o de Priestley-Taylor.

Os quatro primeiros são considerados empíricos porque utilizam relações obtidas em condições específicas entre ETo e uma ou mais variáveis meteorológicas. O método de Penman-Monteith baseia-se em um modelo analítico e o de Priestley-Taylor é uma simplificação deste último, com um certo grau de empirismo. Muitos estudos de comparação de métodos têm sido realizados e, com base nos estudos realizados mundialmente, a FAO acabou adotando como padrão o de Penman-Monteith parametrizado por Allen et al. (1998). Entretanto, esse método exige medidas de, no mínimo, quatro variáveis meteorológicas, enquanto o de Priestley-Taylor exige duas, o do tanque Classe A três (incluindo-se a própria evaporação do tanque), e os outros três somente exigem a temperatura do ar.

Dois outros aspectos devem ser considerados: métodos que usam somente uma variável, como os de Thornthwaite, de Camargo e de Hargreaves-Samani, apresentam melhores estimativas para períodos mais longos (semanas, mês), enquanto um método analítico, como o de Penman-Monteith, pode ser empregado em escala diária ou, com os cuidados recomendados, até em escala horária. Finalmente, métodos empíricos, como os baseados em temperatura do ar, geram melhor estimativa para climas iguais ou próximos às condições em que foram desenvolvidos. Exemplo disso são os métodos de Camargo (1971) e de Thornthwaite (1948), que apresentam melhores estimativas em climas úmidos, enquanto o de Hargreaves-Samani apresenta desempenho melhor em clima semiárido.

Método de Thornthwaite

Foi desenvolvido por Thornthwaite (1948) nos Estados Unidos com o objetivo de estimar a ETo de uma forma bastante simples a partir da temperatura do ar, expressando (essa variável) a energia disponível no ambiente. Como a energia é a única variável considerada e pelo fato de ser um método desenvolvido e testado em condições de clima úmido, seus cálculos tendem a levar a subestimativas, principalmente em condições de clima seco.

A ETo é obtida em mm mês^{-1} pela seguinte formulação (SENTELHAS, 2001):

$$ETp = 16\,(10\,Tm/I)^{a} \text{ para } 0 < Tm < 26{,}5\ ^{\circ}\text{C} \quad (11)$$

$$ETp = -415{,}85 + 32{,}24Tm - 0{,}43Tm^{2} \text{ para } T \geq 26{,}5\ ^{\circ}\text{C} \quad (12)$$

em que ETp é a evapotranspiração padronizada para um mês de 30 dias e para um fotoperíodo (N) igual a 12 horas, Tm a temperatura média do mês em °C e I e a são índices de calor, obtidos a partir dos dados normais da região e determinados pelas seguintes expressões:

$$I = \Sigma\,(0{,}2Tn_{i})^{1{,}514} \quad (13)$$

$$I = 12\,(0{,}2Ta)^{1{,}514} \quad (14)$$

$$a = 0{,}49239 + 1{,}7912 \times 10^{-2} \times I - 7{,}71 \times 10^{-5} \times I^{2} + 6{,}75 \times 10^{-7} \times I^{3} \quad (15)$$

em que Tn_{i} é a temperatura média normal do mês i (i = 1 a 12) e Ta a temperatura média anual normal (média histórica), ambas em °C.

O valor de ETp deve ser corrigido em razão do número de dias (ND) e do fotoperíodo médio (N) do mês em questão na latitude do local,

que pode ser obtido por cálculos de origem astronômica (PEREIRA et al., 2002) ou na Tabela 1. Assim, a ETo em mm mês^{-1} é dada por :

$$ETo = ETp\ (ND/30)\ (N/12) \quad (16)$$

Embora não seja um método desenvolvido originariamente para estimativas em base diária, pode-se estimar a ETo diária usando-se nas equações o valor diário de temperatura do ar do local no cálculo de ETp e colocá-lo na equação (16), aplicando-se ND = 1 e o valor de N do dia.

Tabela 1. Valor do fotoperíodo no dia 15 de cada mês para várias latitudes, compreendendo o território brasileiro.

Lat (grau)	Dia 15 de cada mês											
	15/1	15/2	15/3	15/4	15/5	15/6	15/7	15/8	15/9	15/10	15/11	15/12
0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
-1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1
-2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
-3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,9	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,1	12,2
-4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
-5	12,3	12,2	12,0	11,9	11,8	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,2	12,3
-6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
-7	12,4	12,2	12,0	11,8	11,7	11,6	11,6	11,8	12,0	12,2	12,3	12,4
-8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
-9	12,5	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,5	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
-10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	12,0	12,2	12,5	12,6
-11	12,6	12,4	12,1	11,8	11,5	11,4	11,4	11,6	11,9	12,3	12,5	12,6
-12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
-13	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8
-14	12,7	12,5	12,1	11,7	11,4	11,2	11,3	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
-15	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,1	11,2	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9
-16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	13,0
-17	12,9	12,6	12,1	11,6	11,2	11,0	11,1	11,4	11,9	12,4	12,8	13,0

-18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
-19	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	11,0	11,4	11,9	12,5	12,9	13,1
-20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
-21	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,7	10,8	11,3	11,9	12,5	13,0	13,3
-22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
-23	13,3	12,8	12,2	11,5	10,9	10,6	10,7	11,2	11,9	12,6	13,1	13,4
-24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
-25	13,4	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,6	11,1	11,9	12,6	13,2	13,6
-26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6
-27	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,3	10,5	11,1	11,9	12,7	13,4	13,7
-28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,7	13,4	13,8
-29	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,2	10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,8
-30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,3	10,9	11,8	12,8	13,5	13,9
-31	13,8	13,1	12,2	11,2	10,4	10,0	10,2	10,9	11,8	12,8	13,6	14,0
-32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1
-33	14,0	13,2	12,2	11,2	10,3	9,8	10,0	10,8	11,8	12,9	13,7	14,2

Fonte: Allen et al. (1998).

Para torná-lo aplicável em condições de clima superúmido ou semiárido do Brasil, nos quais o método original não se mostrou eficiente, Camargo et al. (1999) propuseram um ajuste que se refere ao uso de uma “temperatura efetiva” (Tef) no lugar Tm, dada por:

$$Tef = 0{,}36\ (3 \times Tmax - Tmin) \qquad (17)$$

em que $Tmax$ é a temperatura máxima do ar e $Tmin$ a temperatura mínima do ar, ambas em °C.

Método de Camargo

O método proposto por Camargo (1971) é uma simplificação do método de Thornthwaite (1948), com uso apenas da temperatura

média do ar e com a vantagem de não exigir dados normais de sua temperatura. A equação de cálculo é:

$$ETo = 0{,}01 \times Qo \times Tmed \times ND \quad (18)$$

em que Qo é a irradiância solar extraterrestre expressa em mm de evaporação equivalente (Tabela 2), $Tmed$ a temperatura média do período considerado (°C), e ND o número de dias do período considerado.

Método de Hargreaves-Samani

Também utiliza como variável a temperatura do ar, tendo sido desenvolvido para as condições de clima semiárido da Califórnia. É recomendado pela FAO (ALLEN et al., 1998) como uma opção para a estimativa da ETo quando há somente disponibilidade de dados de temperatura do ar local, mas, por ser um método empírico desenvolvido para as condições acima especificadas, apresenta problemas, principalmente com superestimativas em clima úmido (ALLEN et al., 1998; CAMARGO; SENTELHAS, 1997). Sua fórmula para a estimativa diária da ETo é a seguinte:

$$ETo = 0{,}0023 \times Qo(Tmax - Tmin)^{0{,}5} \times (Tmed + 17{,}8) \quad (19)$$

em que $Tmax$ é a temperatura máxima do ar (°C), $Tmin$ a temperatura mínima do ar (°C), $Tmed$ a temperatura média do ar (°C), e Qo a irradiância solar extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente (Tabela 2).

Tabela 2. Valores (mm dia^{-1}) da irradiância solar extraterrestre no dia 15 de cada mês, em várias latitudes, compreendendo o território brasileiro.

Lat (grau)	Dia 15 de cada mês do ano

Lat (grau)	Dia 15 de cada mês do ano											
	15/1	15/2	15/3	15/4	15/5	15/6	15/7	15/8	15/9	15/10	15/11	15/12
0	14,8	15,3	15,5	15,0	14,2	13,6	13,8	14,5	15,2	15,2	14,8	14,5
-1	14,9	15,4	15,5	14,9	14,1	13,5	13,7	14,4	15,2	15,3	15,0	14,7
-2	15,1	15,5	15,5	14,9	13,9	13,3	13,5	14,3	15,1	15,4	15,1	14,9
-3	15,2	15,6	15,5	14,8	13,8	13,1	13,4	14,2	15,1	15,4	15,2	15,0
-4	15,3	15,6	15,5	14,7	13,6	13,0	13,2	14,1	15,1	15,5	15,4	15,2
-5	15,5	15,7	15,5	14,6	13,5	12,8	13,0	14,0	15,1	15,5	15,5	15,3
-6	15,6	15,8	15,5	14,5	13,3	12,6	12,9	13,9	15,0	15,6	15,6	15,5
-7	15,8	15,9	15,5	14,4	13,2	12,4	12,7	13,8	15,0	15,6	15,7	15,6
-8	15,9	15,9	15,5	14,3	13,0	12,2	12,5	13,6	14,9	15,7	15,8	15,8
-9	16,0	16,0	15,5	14,2	12,8	12,1	12,3	13,5	14,9	15,7	15,9	15,9
-10	16,1	16,0	15,4	14,1	12,7	11,9	12,2	13,4	14,8	15,7	16,0	16,1
-11	16,2	16,1	15,4	14,0	12,5	11,7	12,0	13,2	14,7	15,7	16,1	16,2
-12	16,3	16,1	15,4	13,9	12,3	11,5	11,8	13,1	14,7	15,8	16,2	16,3
-13	16,5	16,2	15,3	13,7	12,2	11,3	11,6	12,9	14,6	15,8	16,3	16,4
-14	16,6	16,2	15,3	13,6	12,0	11,1	11,4	12,8	14,5	15,8	16,4	16,6
-15	16,7	16,2	15,2	13,5	11,8	10,9	11,2	12,6	14,4	15,8	16,5	16,7
-16	16,7	16,3	15,2	13,4	11,6	10,7	11,0	12,5	14,4	15,8	16,5	16,8
-17	16,8	16,3	15,1	13,2	11,4	10,5	10,8	12,3	14,3	15,8	16,6	16,9
-18	16,9	16,3	15,1	13,1	11,2	10,2	10,6	12,2	14,2	15,8	16,7	17,0
-19	17,0	16,3	15,0	12,9	11,0	10,0	10,4	12,0	14,1	15,8	16,7	17,1
-20	17,1	16,3	14,9	12,8	10,8	9,8	10,2	11,8	14,0	15,7	16,8	17,2
-21	17,1	16,3	14,9	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,9	15,7	16,9	17,3
-22	17,2	16,3	14,8	12,5	10,4	9,4	9,8	11,5	13,8	15,7	16,9	17,4
-23	17,3	16,3	14,7	12,3	10,2	9,2	9,6	11,3	13,6	15,7	17,0	17,4
-24	17,3	16,3	14,6	12,1	10,0	8,9	9,3	11,1	13,5	15,6	17,0	17,5
-25	17,4	16,3	14,5	12,0	9,8	8,7	9,1	10,9	13,4	15,6	17,0	17,6
-26	17,4	16,3	14,4	11,8	9,6	8,5	8,9	10,7	13,3	15,5	17,1	17,7
-27	17,5	16,3	14,3	11,6	9,4	8,3	8,7	10,5	13,1	15,5	17,1	17,7
-28	17,5	16,2	14,2	11,5	9,2	8,0	8,5	10,3	13,0	15,4	17,1	17,8
-29	17,6	16,2	14,1	11,3	8,9	7,8	8,2	10,1	12,9	15,4	17,1	17,8
-30	17,6	16,2	14,0	11,1	8,7	7,6	8,0	9,9	12,7	15,3	17,1	17,9

Lat (grau)	Dia 15 de cada mês do ano											
-31	17,6	16,1	13,9	10,9	8,5	7,3	7,8	9,7	12,6	15,2	17,2	17,9
-32	17,6	16,1	13,7	10,7	8,3	7,1	7,5	9,5	12,4	15,2	17,2	18,0
-33	17,7	16,0	13,6	10,5	8,0	6,9	7,3	9,3	12,3	15,1	17,2	18,0

Fonte: Allen et al. (1998).

Método do tanque Classe A

Baseia-se no fato de que há uma relação entre a evaporação do tanque Classe A e a ETo. Essa relação é afetada pelas diferenças entre os mecanismos de perda de água de uma superfície vegetal extensa e a pequena superfície de um tanque com paredes laterais expostas. A relação é ajustada por um coeficiente de proporcionalidade denominado de coeficiente de tanque (Kp) cuja expressão é a seguinte:

$$ETo = ECA \; x \; Kp \tag{20}$$

O valor de Kp é função da velocidade do vento, da umidade relativa, do tamanho e do tipo da bordadura circunvizinha ao tanque Classe A. Como o processo de evaporação da água do tanque não evolve resistências comparadas às plantas, o valor do Kp tende a ser menor do que 1, podendo ser estimado pelas seguintes equações (ALLEN et al., 1998):

- para bordadura vegetada

$$Kp = 0{,}108 - 0{,}0286U_{2m} + 0{,}0422 \times ln(B) + 0{,}1434 \times ln(UR_{med}) - 0{,}00063\,[ln(B)]^2 \times ln(UR_{med}) \tag{21}$$

- para bordadura sem vegetação

$$Kp = 0{,}61 + 0{,}00341UR_{med} - 0{,}000162U_{2m} \times UR_{med} - 0{,}00000959U_{2m}\ B + 0{,}00327U_{2m}\ ln(B) - 0{,}00289U_{2m} \times ln(86{,}4U_{2m}) - 0{,}0106ln(86{,}4\ U_{2m}) \times ln(B) + 0{,}00063[ln(B)]^2 \times ln(86{,}4U_{2m}) \quad (22)$$

em que U_{2m} é a velocidade média do vento a 2 m de altura em (m s^{-1}), B a extensão da bordadura vegetada (m) e UR_{med} a umidade relativa média diária (%).

Essas duas equações são aplicáveis dentro dos limites: $U2_m$ entre 1 e 8 m s^{-1}, B entre 1 e 1.000 e UR_{med} entre 30% e 84%.

Na falta de dados de UR_{med} e U_{2m} , Allen et al. (1998) sugerem a adoção dos seguintes valores médios de acordo com a classificação climática da região:

- Clima árido: $U_{2m} \leq$ 1,0 m s^{-1} e UR_{med} = 45%
- Clima semiárido: 1,1 m $s^{-1} \leq U_{2m} \leq$ 3,0 m s^{-1} e UR_{med} = 55%
- Clima subúmido: 3,1 m $s^{-1} \leq U_{2m} \leq$ 4,0 m s^{-1} e UR_{med} = 70%
- Clima úmido: U_{2m} > 4,0 m s^{-1} e UR_{med} = 85%

Método de Penman-Monteith (FAO)

Penman introduziu em 1948 um modelo para estimativa da evaporação de uma superfície de água livre, combinando o balanço de energia (termo energético) e o transporte de massa de vapor (termo aerodinâmico), por meio do uso de dados de insolação, temperatura, umidade e velocidade do vento, obtidos em estações meteorológicas. Posteriormente, ele foi aplicado para a estimativa da evapotranspiração. O método foi também aplicado para estimativa de evapotranspiração potencial (de referência) por

adaptação do termo energético (uso de albedo do gramado no lugar da superfície de água livre) e ajuste do termo aerodinâmico, considerando-se a diferença de rugosidade entre os dois tipos de superfície.

Monteith (1965) aplicou ao modelo de Penman um tratamento que envolve o conceito de resistências à difusão de vapor, tal como já foi discutido para uma folha, assumindo que a cobertura vegetal poderia ser representada por uma grande folha única, daí o nome de “modelo da grande folha” *(big leaf model)*. A Figura 6 mostra a representação das resistências envolvidas: a da cobertura (*rc*), que representa a resistência equivalente às exercidas pelos estômatos, pela cutícula e pelo solo, e a resistência aerodinâmica (*ra*), que representa a resistência ao transporte de vapor exercida pelo fluxo de ar dependente da velocidade do vento.

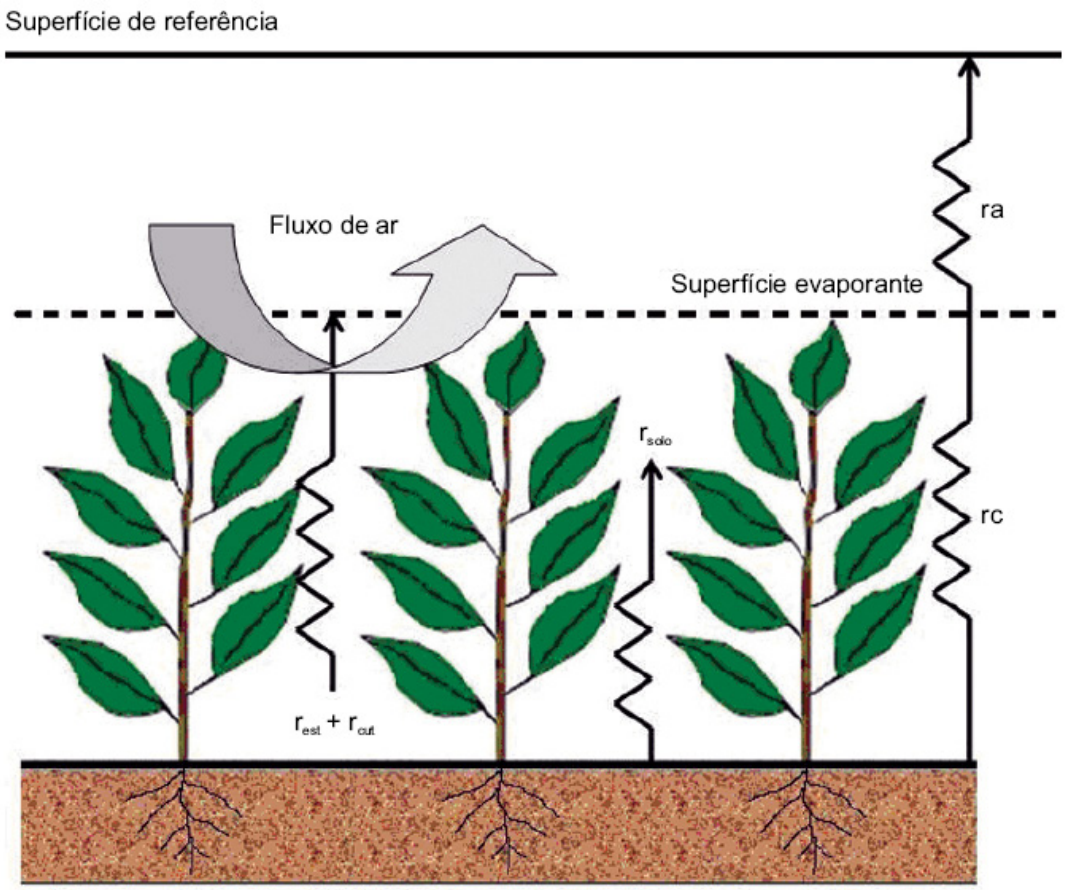


Figura 6. Representação da resistência do ar e da cobertura ao fluxo de vapor.
Fonte: adaptado de Allen et al. (1998).

Allen et al. (1998) ajustaram o atualmente denominado método de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração de referência na escala diária, de acordo com a definição de ETo, dada anteriormente, com a seguinte parametrização recomendada como padrão pela FAO para a estimativa dessa variável expressa em mm d^{-1}:

$$ETo = \{0{,}408s\,(Rn - G) + \gamma[900/(T + 273)]\,U_{2m}\,(e_s - e_a)\} / [s + \gamma(1 + 0{,}34U_{2m})] \quad (23)$$

em que Rn é o saldo de radiação (M Jm^{-2} d^{-1}), G o fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} d^{-1}), T a temperatura média do ar (°C), U_{2m} a velocidade do vento a 2 m acima da superfície (m s^{-1}), e_s - e_a o deficit de pressão de saturação do ar (kPa), γ a constante psicrométrica igual a 0,063 kPa $°C^{-1}$ e s a tangente à curva de pressão de saturação de vapor na temperatura do ar (kPa $°C^{-1}$).

As equações recomendadas para a obtenção das variáveis acima são:

$$s = (4098es) / (T + 237,3)^2 \quad (24)$$

$$es = (es^{Tmax} + es^{Tmin}) / 2 \quad (25)$$

$$es^{Tmax} = 0,6108e^{[(17,27\ Tmax) / (237,3 + Tmax)]} \quad (26)$$

$$es^{Tmin} = 0,6108e^{[(17,27\ Tmin) / (237,3 + Tmin)]} \quad (27)$$

$$ea = (URmed \times es) / 100 \quad (28)$$

$$URmed = (URmax + URmin) / 2 \quad (29)$$

$$T = (Tmax + Tmin) / 2 \quad (30)$$

em que $Tmax$ é a temperatura máxima diária do ar (°C), $Tmin$ a temperatura mínima diária do ar (°C), $URmax$ a umidade relativa máxima (%) e $URmin$ a umidade relativa mínima (%).

Método de Priestley-Taylor

Priestley e Taylor (1972) sugeriram uma simplificação do método original de Penman (1948), pela qual o termo aerodinâmico é calculado como uma fração que ele representa em relação ao termo energético. Introduziram, então, um parâmetro, agora denominado de “Priestley-Taylor”, igual a 1+ termo aeodinâmico/termo energético, e concluíram ser igual a 1,26 a partir de medidas obtidas por meio de literatura revisada. A equação do método proposta e mostrada a seguir permite, portanto, que a ETo seja estimada sem o uso das variáveis deficit de saturação (e_s - e_a) e velocidade do vento:

$$ETo = 1{,}26W\,(Rn - G) \tag{31}$$

em que Rn é o saldo de radiação sobre gramado (MJ m^{-2} d^{-1}), G o fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} d^{-1}), λ o calor latente de evaporação (2,45 MJ kg^{-1} a 20 °C) e W um fator de ponderação dependente da temperatura (T) e do coeficiente psicrométrico, determinado pelas seguintes expressões em razão da temperatura média diária do ar:

$$W = 0{,}407 + 0{,}0145T\ (0 < T < 16\ °C) \tag{32}$$

$$W = 0{,}483 + 0{,}01T\ (16{,}1 < T < 32\ °C) \tag{33}$$

Segundo Monteith e Unsworth (1990), há na literatura a tentativa de se mostrar que o valor 1,26 para o parâmetro de Priestley-Taylor é exatamente esse, mas há trabalhos que mostram que ele pode ser variável.

O termo G, caso não disponível, pode ser desprezado na estimativa da escala diária ou ainda estimado a partir da seguinte expressão (PEREIRA et al., 2002):

$$G = 0{,}38\,(T_d - T_{-3d}) \tag{34}$$

em que T_d é a temperatura média do dia em questão e T_{-3d} a temperatura média do ar dos três dias anteriores, ambas em °C.

Referências

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome, IT: FAO, 1982. 68 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R. A.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O.; WALTER, I. A.; JENSEN, M. E. **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: ASCE, 1991. 444 p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC, 1971. 24 p. (Boletim, 116).

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidlines for predicting crop water requirements**. Rome, IT: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.

JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; PRATT, B. J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 14, n. 5, p. 954-959, 1971.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In: FOGG, G. E. (Ed.). **The State and movement of water in living organisms**. London, GB: Academic Press, 1965. p. 205-234. (Symposium of the Society for Experimental Biology, 19).

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of environmental physics**. New York: Edward Arnold, 1990. 291 p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1981.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. **Proceedings of the Royal Society**, London, GB, v. 193, p. 120-146, 1948.

PENMAN, H. L. Penman, estimating evaporation. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, DC, v. 37, p. 43-50, 1956.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Piracicaba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, [S.l.], v. 100, p. 81-82, 1972.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate**: the biological environment. New York: John Wiley & Sons, 1983.

SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: SBEA; Funep, 2001. p. 63-120.

SMITH, M. **Report on the expert consultation of proceedures for revision of FAO Guidelines for prediction of crops water requirements**. Rome, IT: FAO, 1991. 45 p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographic Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

Capítulo 3

Aspectos qualitativos da água para fins de fertirrigação

Ênio Farias de França e Silva
Hans Raj Gheyi
José Francismar de Medeiros

Introdução

O composto químico mais abundante da face da Terra é a água, que corresponde a uma proporção de três quartos de sua superfície e é essencial na constituição dos seres vivos e de fundamental importância para a produção de alimentos. Alguns vegetais são constituídos por água em proporções superiores a 90%. A hidrosfera contém aproximadamente 1,4 bilhão de km³ de água nas três fases: sólida, líquida e gasosa. Entretanto, do total, a grande parte (97,2%) é salina e localiza-se nos oceanos, e 2,15% encontram-se na forma sólida e localizam-se nas calotas polares ou depósitos glaciais. Resta 0,65% (8,5 milhões de km³), cujos 0,16% se encontram na forma de vapor em atmosfera e o restante nos aquíferos subterrâneos, lagos, rios e córregos.

Apesar de os 6,4 milhões de km³ de água localizados nos aquíferos subterrâneos, rios, lagos e córregos parecerem ser quantitativamente substanciais, esses se apresentam distribuídos de

forma heterogênea sobre a superfície do globo terrestre. Além disso, a qualidade da água de superfície pode ser degradada por uma série de processos tanto naturais como antropogênicos.

Ayres e Westcot (1991) conceituam a qualidade da água levando-se em conta as características que podem afetar sua adaptabilidade para um uso específico, ou seja, a relação entre a qualidade da água e a sua finalidade de uso. Dessa forma, a qualidade da água deve ser considerada em razão de possíveis efeitos prejudiciais aos equipamentos a serem utilizados na fertirrigação, bem como ao solo e à cultura.

Características da água em relação aos equipamentos utilizados na fertirrigação

Quando se explicita a problemática relacionada à qualidade da água na irrigação, é comum ater-se a aspectos ligados à salinidade. Entretanto, problemas com a precipitação de compostos de ferro e manganês ou a presença de microrganismos e partículas físicas contidos na água ou nos sistemas de fertirrigação são efetivos em condições de campo e preocupantes na mesma escala da salinidade. A potencialidade dos sistemas de irrigação localizada para fertirrigação faz dos equipamentos microaspersores e gotejadores os mais utilizados na distribuição da água e dos fertilizantes, trazendo consigo alguns efeitos indesejáveis como

perda de desempenho de equipamentos em virtude da presença de ferro e sólidos em suspensão e do entupimento de emissores.

Entre os elementos nocivos às tubulações e emissores estão os íons ferro e manganês e as elevadas concentrações de sólidos solúveis, que podem entupir tubulações, reduzindo a área de condução da água, aumentando a perda de carga e fazendo com que haja perda de pressão no sistema, diminuindo a vazão dos emissores. Em alguns casos, podem até mesmo inviabilizar o sistema de irrigação como um todo. Além disso, a redução da quantidade de água aplicada pode influenciar na queda do rendimento da cultura. A seguir, relatam-se alguns parâmetros a serem monitorados e técnicas minimizadoras desses efeitos.

Sólidos suspensos

Definem-se como sólidos suspensos todas as partículas de terra, as quais variam em tamanho, podendo ser classificadas como areias grossas, siltes e argilas, além de organismos vivos, como algas e bactérias. A matéria inorgânica suspensa, contida na água de irrigação, também pode causar severas obstruções nos sistemas de irrigação. De acordo com a estação do ano, as cargas de sólidos suspensos variarão frequente e consideravelmente, especialmente quando a fonte de água for superficial, ou seja, proveniente de rio, lago ou reservatório. Dessa forma, torna-se primordial que os sólidos suspensos, até certo tamanho, sejam filtrados e retirados da água antes de esta entrar no sistema de fertirrigação.

Precipitados químicos

Os precipitados químicos podem ser produzidos ao se modificarem as condições iniciais da água, como o pH, a temperatura, a presença de íons incompatíveis e, principalmente após a irrigação, a ocorrência da evaporação da água nos emissores, aumentando a concentração de sais dissolvidos, que precipitam quando alcançam o limite de solubilidade. Entre os íons que podem causar problemas de precipitação e consequentemente entupimento dos sistemas, citam-se os cátions ferro, manganês, cálcio e magnésio, os quais reagem com sulfatos e fosfatos.

Ferro, manganês e enxofre

Altas concentrações de ferro na água têm como uma das causas a má conservação do solo e o desmatamento das nascentes e matas ciliares. Essas ações têm contribuído para um aumento do assoreamento dos córregos e mananciais como um todo, fazendo com que a concentração de ferro aumente a níveis prejudiciais aos equipamentos utilizados na fertirrigação.

Íons de ferro, manganês e enxofre são solúveis na forma reduzida; entretanto, a oxidação desses íons causa a sua precipitação e os precipitados por eles gerados promovem o entupimento de tubulação e emissores do sistema de irrigação.

Cálcio e magnésio

As obstruções mais frequentes de origem química são precipitações de carbonatos de cálcio (calcário) e de sulfato de cálcio (gesso), dada a baixa solubilidade. Têm-se comprovado casos de precipitação como resultado da aplicação de produtos fosfatados, em que o fosfato solúvel pode se combinar com o cálcio ou o magnésio da água e depositar-se de forma insolúvel (VERMEIREN; JOBLING, 1986), causando o entupimento dos componentes do sistema de irrigação (PINTO; SOARES, 1990). Ayers e Westcot (1991) sugerem que não devem ser adicionadas à água fontes de fosfatos, quando essas contêm mais de 6 meq L^{-1} de Ca e/ou mais de 5 meq L^{-1} de HCO_3, pois pode haver formação de precipitados.

Ayers e Westcot (1991) afirmam que as obstruções causadas pelas precipitações químicas de materiais como o carbonato e o sulfato de cálcio produzem-se gradualmente e, portanto, são mais difíceis de localizar. Segundo Threadgill et al. (1992), para evitar formação de precipitados químicos, deve-se considerar o produto de atividade iônica de diferentes íons presentes na água, como estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valor do produto de atividade iônica acima do qual o Ca e o Mg se precipitam no tanque ou no interior das tubulações.

Produto iônico (mol L^{-1})^2	Valor máximo do K_{sp}° a 25 °C
(Ca) (SO_4)	3,9 x 10^{-5}
(Ca) (CO_3)	4,8 x 10^{-9}
(Ca) (HPO_4)	2,2 x 10^{-7}
(Mg) (SO_4)	2,0 x 10^{-4}
(Mg) (CO_3)	2,6 x 10^{-5}

Fonte: Threadgill et al. (1992).

A precipitação do cálcio e do magnésio presentes na água de irrigação, ocasionada pela elevação do pH, em decorrência da aplicação de fertilizantes ricos em nitrogênio (como a ureia, por exemplo), pode causar problemas de entupimento dos emissores ou mesmo elevar o valor da relação de adsorção de sódio (RAS) na água, quando esta possui altos teores de sódio.

Segundo Medeiros (1992), as águas do aquífero calcário no Nordeste brasileiro podem apresentar até 7 meq L^{-1} de bicarbonato e 10 meq L^{-1} de cálcio. Quando fosfatos são aplicados em água de irrigação a concentrações elevadas de Ca e Mg, é necessário que, antes de injetar o fertilizante, seja aplicado um ácido (sulfúrico ou nítrico, por exemplo) para baixar o pH da água (NAKAYAMA, 1986). Em muitos casos, o ácido fosfórico pode ser injetado diretamente, isto é, quando as concentrações de bicarbonato, cálcio e magnésio não são altas (ROLSTON et al., 1986). Gilbert e Ford (1986) utilizaram ácido sulfúrico diluído para controlar o pH da água, enquanto Bar-Yosef (1991) recomenda o uso dos ácidos fosfórico e nítrico. De outro lado, Abreu et al. (1987) e Pizarro Cabello (1990) sugerem, além desses ácidos, o clorídrico, não sendo recomendável se a água de irrigação já é rica em cloretos e o seu preço não for compensador.

Nakayama (1986) recomenda a acidificação para controlar a formação de precipitados do $CaCO_3$. A dose de ácido a aplicar pode ser estimada por meio do índice de saturação de Langelier (PIZARRO CABELLO, 1990), embora Nakayama (1986) sugira que seja usado apenas como indicativo para saber se a água tem ou

não tendência de precipitar o $CaCO_3$, e recomenda 0,5 meq de ácido por litro de água para reduzir uma unidade no seu pH; como regra prática, adicionar 1,0 meq L^{-1} de ácido para baixar o pH da água para 6,0 a 6,5, o que evitaria a formação de precipitados. Mesmo assim, Nakayama (1986) ainda enfatiza a necessidade de se determinar a dose de cada ácido, utilizando-se uma curva de titulação feita em laboratório com a água que será usada na irrigação.

A temperatura da água de irrigação pode influir na precipitação, pois altas temperaturas provocam liberação de CO_2 da água, dando origem a CaO. Quando a temperatura diminui, esses carbonatos se depositam no interior dos tubos. A temperatura da água influi na sedimentação em razão de a água fria conter mais CO_3 que a água quente. Níveis elevados de CO_2 constituem um fator favorável à ocorrência de sedimentação de carbonatos.

Microrganismos

As obstruções por microrganismos (fitoplâncton – algas e bactérias – e zooplâncton) são resultado de um fenômeno complexo. Os microrganismos se desenvolvem alimentando-se de resíduos orgânicos que podem estar presentes na água. Dessa forma, filamentos desses microrganismos que crescem podem formar uma matriz gelatinosa e pegajosa, que se adere às partes internas da tubulação e dos emissores.

As algas, como os outros microrganismos, necessitam de componentes inorgânicos para se reproduzirem. Os principais nutrientes requeridos são: dióxido de carbono, nitrogênio e fósforo. Em reservatórios, o desenvolvimento de algas é limitado pelos seguintes fatores: escassez de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo; baixas temperaturas; luz inadequada; e alta densidade de algas que causam autossombreamento.

As altas temperaturas, que ocorrem nas estações mais quentes, aumentam a atividade biológica nos sistemas de irrigação, agravando o problema de obstrução. As bactérias podem também oxidar o Fe e o H_2S, provocando precipitados que podem ficar retidos em seus filamentos, denominados limo, que obstruem o conduto dos emissores.

Os principais fatores que influem no crescimento de bactérias e limo são: o pH da água, a temperatura e as fontes de carbono. O limo pode ser classificado como limo sulfático, se a água contém ácido sulfídrico; limo de ferro, se a água contém mais de 1 mg L^{-1} de ferro; e limo não especificado (filamentosos e outros).

Procedimentos para minimizar o entupimento dos sistemas

Os procedimentos práticos com a finalidade de reduzir o entupimento dos sistemas de irrigação, em razão da utilização de águas com algumas restrições, são: colocação de filtros (mecânicos) e cloração (química) para combater as bactérias e

promover acidificação, evitando a formação de precipitados químicos.

O monitoramento dos sistemas de irrigação deve ser realizado ao menos uma vez por ano. A causa da obstrução pode ser verificada observando-se no final das linhas laterais e nos emissores a cor do material obstruinte. O branco indica a presença de carbonatos, o marrom indica presença de ferro, e o negro indica obstruções causadas por microrganismos.

A prevenção de precipitações por acidificação na água é feita baixando o pH para um determinado valor (< 7) e é realizada da seguinte maneira:

a) Determinar em laboratório, mediante curva de neutralização, o fator ácido (*f*), que é o número de $mmol_c$ de ácido por litro de água para atingir um pH desejado. A normalidade dos principais ácidos empregados está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Normalidade dos principais ácidos possíveis de serem utilizados para acidificar a água de irrigação.

Nome	Fórmula	Normalidade
Ácido clorídrico	HCl	12
Ácido fosfórico	H_3PO_4	45
Ácido nítrico	HNO_3	16
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	36

Fonte: Pizarro Cabello (1990).

b) Determinar o fator *f* obtido pelo Índice de Saturação de Langelier (*ISL*), descrito pela equação 1.

$$ISL = pH_a - pH_s \quad (1)$$

em que pH_a é o pH da água atual medido; pH_s o pH da água em equilíbrio com $CaCO_3$, ou seja, o pH teórico $pH_s = (pK_2' - pK_s') + p\text{Ca} + pAlc$, em que K_2' e K_s' são, respectivamente, as constantes da segunda dissociação do ácido carbônico e o produto de solubilidade do carbonato de cálcio, corrigidos pela atividade iônica; ambos dependem do teor total de sólidos solúveis e da temperatura; pCa o cologaritmo da concentração molar de Ca e $pAlc$ o cologaritmo da alcalinidade total expressa em equivalentes de $CO_3 + HCO_3$.

Se a concentração de cálcio for em meq L^{-1}, pode-se adotar a equação 2 para o devido cálculo.

$$\text{Ca} = 3{,}3 - \log(\text{Ca}) \quad (2)$$

Sendo a concentração em $mmol_c\ L^{-1}$, pode-se usar a equação 3.

$$P(Alc) = 3{,}0 - \log(HCO_3 + CO_3) \quad (3)$$

$pK_2' - pK_s'$ determina-se a partir da concentração Na + Ca + Mg, em $mmol_c\ L^{-1}$, que, na ausência deste, pode ser estimada pelo produto da condutividade elétrica (CE) por 10.

Segundo Nakayama (1986), pode-se estimar a partir da concentração total da água (C), em $mmol_c\ L^{-1}$ e temperatura (t) pela equação 4.

$$pK_2' - pK_s' = 0{,}0779 + 0{,}0216C - 0{,}0005477C^2 + 0{,}000005323C^3 + 2{,}593e^{-0{,}0106t} \quad (4)$$

Lima (1997) recomenda utilizar a seguinte equação 5 para estimar $pK_2' + pK_s'$ em razão da CE da água e para temperatura de 25 °C.

(5)

$$pK_2' - pK_s' = 2{,}026 + 0{,}5092\left[\frac{0{,}45\sqrt{CE}}{1+0{,}325\sqrt{CE}} + \frac{0{,}113\sqrt{CE}}{1+0{,}163\sqrt{CE}}\right]$$

ISL > 0 indica formação de precipitados.

O cálculo da alcalinidade corrigida (Alc) para evitar precipitação é feito segundo as equações 6, 7, 8 e 9, em que:

$$pAlc_c = pAlc + ISL \quad (6)$$

$$Alc_c = 10^{(3 - pAlcc)} \quad (7)$$

com Alc_c em $mmol_c\ L^{-1}$.

Cálculo da concentração de CO_3 + HCO_3 a eliminar (Alc_E):

$$Alc_E = Alc + Alc_c \quad (8)$$

em que Alc = CO_3 + HCO_3 da água de irrigação ($mmol_c\ L^{-1}$).

Cálculo do ácido a adicionar para corrigir a alcalinidade (f):

$$f\ (mmol_c\ L^{-1}) = Alc_E \quad (9)$$

Exemplo – Seja a água de um poço utilizada para irrigação por gotejamento na Chapada do Apodi, Estado do Rio Grande do Norte, com a seguinte composição: Cl = 13,3 $mmol_c\ L^{-1}$; SO_4 = 1,0 $mmol_c\ L^{-1}$; HCO_3 = 6,0 $mmol_c\ L^{-1}$; Ca = 5,3 $mmol_c\ L^{-1}$; Mg = 5,0 $mmol_c\ L^{-1}$; Na = 10,0 $mmol_c\ L^{-1}$; CE = 2,0 dS m^{-1} e pH = 7,7. Determinar a quantidade de ácido para evitar precipitação de carbonatos, sabendo-se que a temperatura da água é de 32 °C.

Dados: pH = 7,70

CE = 2,00 dS m^{-1}

t = 32 °C

Ca = 5,3 $mmol_c$ L^{-1}

CO_3 = 0 $mmol_c$ L^{-1}

HCO_3 = 6,0 $mmol_c$ L^{-1}

Cálculos:

$$pK_2' - pK_s' = 2{,}026 + 0{,}5092\left[\frac{0{,}45\sqrt{2}}{1+0{,}225\sqrt{2}} + \frac{0{,}113\sqrt{2}}{1+0{,}163\sqrt{2}}\right] = 2{,}36$$

Corrigindo para a temperatura de 32 °C, tem-se que diminuir 7% (1% para cada 1 °C acima ou abaixo de 25 °C).

Então,

$pK_2' - pK_s' = 2{,}36 \times 0{,}93 = 2{,}18$

$p\mathrm{Ca} = 3{,}3 - \log(5{,}3) = 2{,}58$

$pAlc = 3{,}0 - \log(6{,}0) = 2{,}22$

$pH_s = 2{,}18 + 2{,}58 + 2{,}22 = 6{,}98$

$ISL = 7{,}70 - 6{,}98 = 0{,}72$

$pAlc_c = pAlc + ISL = 2{,}22 + 0{,}72 = 2{,}94$

Assim, $Alc_c = 10^{(3 - 2{,}94)} = 1{,}15$ meq L^{-1}

Portanto, $Alc_E = 6{,}0 - 1{,}15 = 4{,}85$ meq L^{-1}

Ácido a adicionar (f) = $Alc_E = 4{,}85$ meq L^{-1}

Usando-se ácido fosfórico, $45\mathrm{N} = \frac{4{,}85}{45} = 0{,}108\ \mathrm{L\ m^{-3}}$ de água

Usando-se ácido nítrico, $16\text{N} = \frac{4,85}{16} = 0,303\text{L m}^{-3}$

Usando-se ácido sulfúrico, $36\text{N} = \frac{4,85}{36} = 0,135\text{L m}^{-3}$

Usando-se ácido muriático (clorídrico), $12\text{N} = \frac{4,85}{12} = 0,404\,\text{L m}^{-3}$

Para determinar o volume de água, ao qual se deve adicionar ácido para que tal volume chegue aos emissores mais distantes, uma regra prática é utilizar duas a três vezes o volume das tubulações.

Os ácidos, em geral, devem ser diluídos no mínimo para metade de sua concentração inicial para serem manuseados, reduzindo assim efeitos nocivos ao operador em caso de acidente.

Corrosão do sistema

A corrosão e a formação de crosta proveniente da água de irrigação é um problema constante nos cultivos fertirrigados, devendo-se observar os limites recomendados para que o problema seja evitado. Na Tabela 3, podem-se observar as diretrizes para estimar a intensidade de danos. Biezok (1972) sugere ainda que se deve efetuar uma avaliação mais abrangente, mesmo quando um dos valores indicar perigo potencial.

Tabela 3. Valores-limites para avaliar a agressividade das águas.

Análise	Intensidade relativa de danos			
	Nenhuma a ligeira	Moderada	Forte	Muito forte
pH	> 6,5	6,5–5,5	5,5–4,5	< 4,5
CO_2 dissolvido do $CaCO_3$, mg L^{-1}	< 15	15–30	30–60	> 60

NH_4, mg L^{-1}	< 15	15–30	30–60	> 60
Mg, mg L^{-1}	< 100	100–300	300–1.500	> 1.500
SO_4, mg L^{-1}	< 200	200–600	600–3.000	> 3.000

Fonte: Biezok (1972).

Algumas partes do sistema de irrigação podem ser danificadas pela atividade corrosiva dos fertilizantes, especialmente partes relacionadas ao equipamento de injeção. Isso faz com que alguns cuidados devam ser adotados, como lavagem dos equipamentos e da tubulação de irrigação (HERNANDEZ, 1994). A maioria dos produtores de flores e hortaliças já optou pelo uso do plástico na irrigação e na injeção de fertilizantes no sistema. Com isso, o problema de corrosão da tubulação e de injetores tipo venturi inexiste (CASARINI; FOLEGATTI, 1999).

A qualidade da água e seus efeitos sobre as plantas e o solo

Na prática da fertirrigação, o conhecimento do teor de sais presente na água é de suma importância, visto que, além dos sais provenientes das fontes de abastecimento, serão ainda adicionados, em quantidade relativamente elevada, os nutrientes oriundos dos sais necessários às plantas, denominados comercialmente de fertilizantes. Qualquer que seja a fonte de água utilizada, superficial ou subterrânea, de qualidade superior ou inferior, essa sempre possui sais em quantidade e qualidade bastante variadas (PIZARRO CABELLO, 1985). Nas regiões áridas e semiáridas, a avaliação da

qualidade da água utilizada para irrigação torna-se de grande importância em virtude de essas regiões apresentarem baixos índices pluviométricos e alta evaporação. Nessas regiões, a irrigação manejada inadequadamente ao longo dos anos poderá causar a salinização do solo, ou seja, acumulação gradativa de sais solúveis, principalmente se o sistema de drenagem for ineficiente.

Medeiros (1992) afirma que a água de irrigação apresenta uma composição química constituída dos cátions sódio, cálcio, magnésio e potássio e ânions cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos, os quais podem apresentar-se em diferentes proporções dependendo da fonte, localização geográfica e época do ano. Em regiões de clima subúmido, precipitações elevadas garantem que, na maioria das vezes, haja lavagem natural do perfil do solo, evitando o acúmulo de sais, exceto quando a drenagem é deficiente, pois mesmo a água da chuva contribui com até 10 mg L^{-1} de sais.

Todavia, em condições de plantio em estufas agrícolas, a lavagem natural é impossibilitada, passando a se comportar de forma semelhante aos solos de regiões semiáridas (MEDEIROS, 1998). Associada a esse fato, a adição de fertilizantes em excesso via fertirrigação e as utilizações de águas de qualidade inferior provindas de poços aceleraram o processo de salinização dos solos. Dessa forma, pode-se afirmar que a salinização é função da concentração de sais na água de irrigação, da eficiência do sistema de drenagem, das flutuações do lençol freático, das lixiviações promovidas pelas chuvas e principalmente pelos acréscimos em razão do manejo do sistema solo-água-planta (CRUCIANI, 1989).

Problemas relativos à qualidade da água

Segundo Ayers e Westcot (1991), os problemas inerentes à qualidade da água de irrigação variam em intensidade e tipo e dependem do solo e do clima, assim como da habilidade e conhecimento do manejo do sistema água-solo-planta utilizado. Entre os efeitos nocivos mais comuns, causados pela utilização de água de qualidade inferior (alto teor de sais), podem-se enumerar: a salinização do solo (potencial osmótico), a redução da infiltração de água no solo, a toxicidade de íons específicos e outros problemas, tais como nutrientes presentes em excesso.

Salinização do solo

Dentro do potencial total da água no solo, insere-se o potencial osmótico, que é proporcional à quantidade de sais presentes na forma solúvel (LIBARDI, 2000). Nas terras agricultáveis, na maioria das vezes, o aumento de sais no solo é proveniente da água de irrigação ou do lençol freático elevado, e seu acúmulo é potencializado em virtude da baixa drenabilidade de algumas áreas. O acúmulo de sais no solo reduz o potencial osmótico e, se analisado associado à variação de potencial mátrico (umidade do solo) a níveis mais baixos de umidade, o efeito de salinidade é potencializado. A diminuição do potencial osmótico leva as plantas a sofrer deficit hídrico, reduzindo assim o seu crescimento e

rendimento. Os efeitos negativos causados pela salinidade dependem da cultura, da variedade e do seu estádio fenológico (AYERS; WESTCOT, 1991).

Os sais provenientes da água de irrigação e causadores de danos às culturas são solúveis e por intermédio da lixiviação são facilmente transportados pela água a maiores profundidades, sendo esse um dos processos adequados para controlar o teor de sais no perfil do solo. A lixiviação transporta os sais para além da profundidade alcançada pelas raízes da cultura somente quando a lâmina de água aplicada é superior ao requerido pela cultura. A lâmina adicional a ser aplicada depende da qualidade da água e da tolerância das culturas exploradas à salinidade (AYERS; WESTCOT, 1991).

No caso de os sais acumulados serem resultado do excesso de fertilizantes aplicados pela fertirrigação, essa técnica parece não ser a mais apropriada, pois esses sais têm um custo aos agricultores. Assim, deve-se realizar o constante monitoramento, visando direcionar a aplicação de doses mais precisas de fertilizantes (SILVA, 2002). Além disso, a utilização de frações de lixiviação preconiza o uso de lâminas de água maiores que evapotranspirado pela planta, induzindo um maior consumo de água e, consequentemente, de energia.

A distribuição de sais no perfil do solo varia com a profundidade, em consequência de os sais da parte superior estarem sempre sendo lixiviados para as partes inferiores pelas lâminas de irrigação. Dessa forma, a quantidade de sais na parte inferior da zona radicular é sempre maior que na parte superior. Com a intenção de minimizar os efeitos relacionados com a salinidade, é interessante manter a

planta sempre bem suprida de água já que ela absorve mais água na parte superior do perfil do solo onde a tensão da água é menor (AYERS; WESTCOT, 1991).

A ascensão capilar com consequente evaporação na superfície possibilita a precipitação de sais na camada superficial do solo. Assim, o controle do nível do lençol freático é de suma importância para evitar que os sais se localizem na área de absorção de água pelas raízes das plantas. Para isso, é primordial manter o sistema de drenagem funcionando de forma eficiente e o lençol freático abaixo de 1,5 m a 2,0 m da superfície do solo (AYERS; WESTCOT, 1991).

Infiltração de água

Efeitos da infiltração de água nos solos podem ocorrer em virtude da qualidade da água de irrigação. Altos teores de sais geralmente causam floculação em solos argilosos. Com isso, a infiltração aumenta nesses solos. O teor de sódio alto em relação aos de cálcio e magnésio provoca dispersão das partículas coloidais obstruindo os poros do solo. Teores de cálcio extremamente baixos também podem provocar esse problema. Dessa forma, a infiltração de água fica prejudicada. Esses problemas de infiltração geralmente ocorrem nos primeiros centímetros do solo. O problema principal é o não suprimento adequado de água para as plantas. Como problemas secundários, têm-se o tempo maior para aplicar determinada lâmina de água que favorece a formação de crostas, invasão de ervas daninhas, problemas de nutrição, inundação da

cultura e podridão de sementes (AYERS; WESTCOT, 1991). Esses problemas podem ser solucionados mediante aplicações periódicas de esterco de curral e corretivos, como gesso e tratos culturais.

Toxicidade

A presença de alguns íons específicos acima de uma concentração-limite na água de fertirrigação pode ocasionar problemas de toxidez. O processo de toxidez se inicia quando esses íons tóxicos em quantidades elevadas são absorvidos e acumulados nos tecidos vegetais, podendo até causar alterações no metabolismo da planta. O limite de concentração a partir do qual a planta sofreria prejuízos varia de acordo com a sensibilidade da cultura. Entre os sintomas visuais, citam-se as queimaduras e cloroses inicialmente nas bordas da folha com progressão para toda a sua superfície ativa. Dessa forma, ocorrerá uma diminuição da fotossíntese da planta e, consequentemente, uma redução dos rendimentos. Entre os íons tóxicos, os de maior ocorrência são o sódio, o cloro e o boro, os quais podem ocasionar toxicidade mesmo em baixas concentrações (AYERS; WESTCOT, 1991).

De acordo com Ayers e Westcot (1991), à medida que as concentrações desses íons aumentam na água aplicada, os danos subsequentes desenvolvem-se mais rapidamente, chegando a ser progressivamente mais graves. Campos e Assunção (1990) observaram que os graus de toxicidade de sais solúveis no solo apresentam a seguinte ordem: cloreto de sódio, cloreto de cálcio, cloreto de potássio, nitrato de sódio, cloreto de magnésio, carbonato

de sódio, carbonato de potássio, sulfato de sódio, sulfato de potássio e sulfato de magnésio.

Bernstein (1964) e Strogonov (1964) propuseram a Teoria da Toxidez dos Sais, que explica os diferentes efeitos causados por diferentes sais na mesma concentração sobre a germinação de sementes. Segundo essa teoria, a inibição da germinação não é função da limitação de água no meio, e sim da excessiva quantidade de íons que penetram nas células das sementes, afetando o metabolismo e consequentemente inibindo ou retardando o processo de germinação.

Aguiar (1979) atribuiu à presença de sais os prejuízos na absorção de água pelas sementes, a inibição da atividade de certas enzimas responsáveis pela conversão das substâncias de reserva, a redução da mobilização e síntese dessas substâncias, podendo ainda interferir no balanço hormonal da semente. Sarin e Narayanan (1968) relatam que os sais parecem inibir a síntese e/ou atividade de enzimas hidrolíticas necessárias ao processo germinativo.

Bliss et al. (1984) afirmam que os efeitos danosos dos sais nas membranas celulares são mais elevados durante a germinação, já que afetam diversas funções, entre as quais a permeabilidade celular e o transporte de solutos orgânicos e inorgânicos e secreção, podendo ainda causar alterações na composição lipoproteica da membrana.

Outros efeitos na planta em razão do excesso de nutrientes na água

Segundo Ayers e Westcot (1991), elevados teores de alguns nutrientes podem gerar consequências indesejáveis às culturas. Por exemplo, o nitrogênio em excesso na água da fertirrigação pode causar crescimento vegetativo excessivo, maturação tardia, acamamento e má qualidade dos frutos. Dessa forma, atenção especial deve ser dada quando forem utilizadas águas residuárias, tendo em vista as altas quantidades de nitrato presentes nessas fontes. Água com altas concentrações de bicarbonato, gesso e ferro pode causar manchas em folhas e frutos quando aplicada por aspersão.

Caso alguns nutrientes específicos apresentem-se em excesso na água de irrigação, relações de equilíbrio antagônico poderão atingir valores que prejudiquem a absorção de um nutriente específico. Segundo Grattan e Grieve (1993), a disponibilidade e a absorção de nutrientes por uma planta dependem do pH e da concentração e composição iônica na solução do solo. Das relações entre íons, por exemplo, pode-se dizer que a presença excessiva de cálcio na solução do solo reduz a absorção de magnésio pela cultura, que poderá mostrar deficiência em relação a esse nutriente. A presença de cloro em quantidades elevadas, além de ter ação tóxica, pode reduzir a absorção de nitrato pelas plantas.

Classificações da água para irrigação

Os parâmetros utilizados para classificação da água a ser utilizada na fertirrigação devem levar em consideração aspectos relacionados com seus efeitos no solo, na cultura e com o manejo da água e do

solo, e não se deve estudar a sua adequabilidade de forma isolada, e sim dentro de um conjunto de fatores (CHRISTIANSEN et al., 1977).

Diversas propostas de classificação surgiram durante o século 20. Entre outras, destacam-se Doneen (1975), Richards (1954), Scofield (1936), Thorne e Peterson (1954), University of California Committee of Consultants (1974) e Wilcox (1948). Nessas propostas de classificação, enfatizam-se a qualidade da água de irrigação, principalmente os problemas de salinidade e sodicidade advindos de seu uso (YARON, 1973). Em todas as classificações, o potencial da água em provocar acúmulo de sais no solo é tratado de forma semelhante, diferenciando-se os seus limites com base no número de classes e nos critérios considerados.

Visando avaliar o processo de sodificação do solo, as classificações apresentam conceitos discrepantes, em que sempre se consideram a condutividade elétrica (CE) e a relação de adsorção do sódio (RAS) na água. Uma divergência histórica entre as classificações de Richards (1954) e Wilcox (1948) e as classificações de Doneen (1975) e University of California Committee of Consultants (1974) está na inclinação das curvas presentes nos diagramas: nas primeiras classificações citadas, as curvas que separam as diferentes classes de risco de sodificação se apresentam com inclinações descendentes com o incremento da salinidade, enquanto nas últimas citadas as curvas são ascendentes.

Atualmente, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) recomenda a classificação proposta pela University of California Committee of Consultants (1974), divulgada por Ayers e Westcot (1991). As diretrizes dessa classificação levam

em consideração o estudo do grau de restrição no uso de águas com problemas potenciais de salinização do solo, redução de infiltração de água no solo, toxicidade de íons específicos e outros problemas (Tabela 4).

Tabela 4. Diretrizes para interpretar a qualidade da água de irrigação.

Problema potencial	Unidade	Grau de restrição de uso		
		Nenhuma	Ligeira a moderada	Severa
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para a cultura)				
CEa	dS m^{-1}	< 0,7	0,7–3,0	> 3,0
SDT	mg L^{-1}	< 450	450–2.000	> 2.000
Infiltração (avaliada usando *CEa* e *RAS* conjuntamente)				
$RAS^{(1)}$ = 0 – 3 e *CE* =		> 0,7	0,7–0,2	< 0,2
3 – 6		> 1,2	1,2–0,3	< 0,3
6 – 12		> 1,9	1,9–0,5	< 0,5
12 – 20		> 2,9	2,9–1,3	< 1,3
20 – 40		> 5,0	5,0–2,9	< 2,9
Toxicidade de íons específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na^+)				
Irrigação superficial	*RAS*	< 3	3–9	> 9
Irrigação por aspersão	*RAS*	< 3	> 3	-
Cloreto (Cl^-)				
Irrigação superficial	$mmol_c$ L^{-1}	< 4	4–10	>10
Irrigação por aspersão	$mmol_c$ L^{-1}	< 3	> 3	
Boro (B)				
Oligoelementos	mg L^{-1}	<0,7	0,7– 3,0	>3,0
Outros (culturas sensíveis)				
Nitrogênio (NO_3 --N)	mg L^{-1}	< 5,0	5–30	> 30
Bicarbonato (HCO_3)	-	-	-	-
Aspersão convencional	$mmol_c$ L^{-1}	< 1,5	1,5–85	> 8,5
pH		**Faixa normal 6,5–8,4**		

(1) RAS = $Na^{+}/(Ca^{++} + Mg^{++}/2)^{½}$, podendo ser utilizada RAS corrigida, substituindo-se concentração de Ca^{++} na água por Ca^{++} em equilíbrio com solução do solo após infiltração.
Fonte: Ayers e Westcot (1991).

Os problemas mais sérios e de difícil remediação são aqueles associados aos processos de sodificação do solo, ou seja, situações em que a água aplicada ao solo apresenta elevado teor de sódio em relação ao cálcio + magnésio (RAS). Tal processo pode ser amenizado com o incremento da salinidade da água. A Figura 1 apresenta uma classificação de água quanto ao problema de infiltração, a qual pode ser utilizada, substituindo-se as diretrizes apresentadas na Tabela 4 para infiltração. A toxidez provocada por íons específicos apresenta-se quando alguns elementos ultrapassam certo limite de concentração, tornando-se nocivos às plantas, como boro, cloreto e outros.

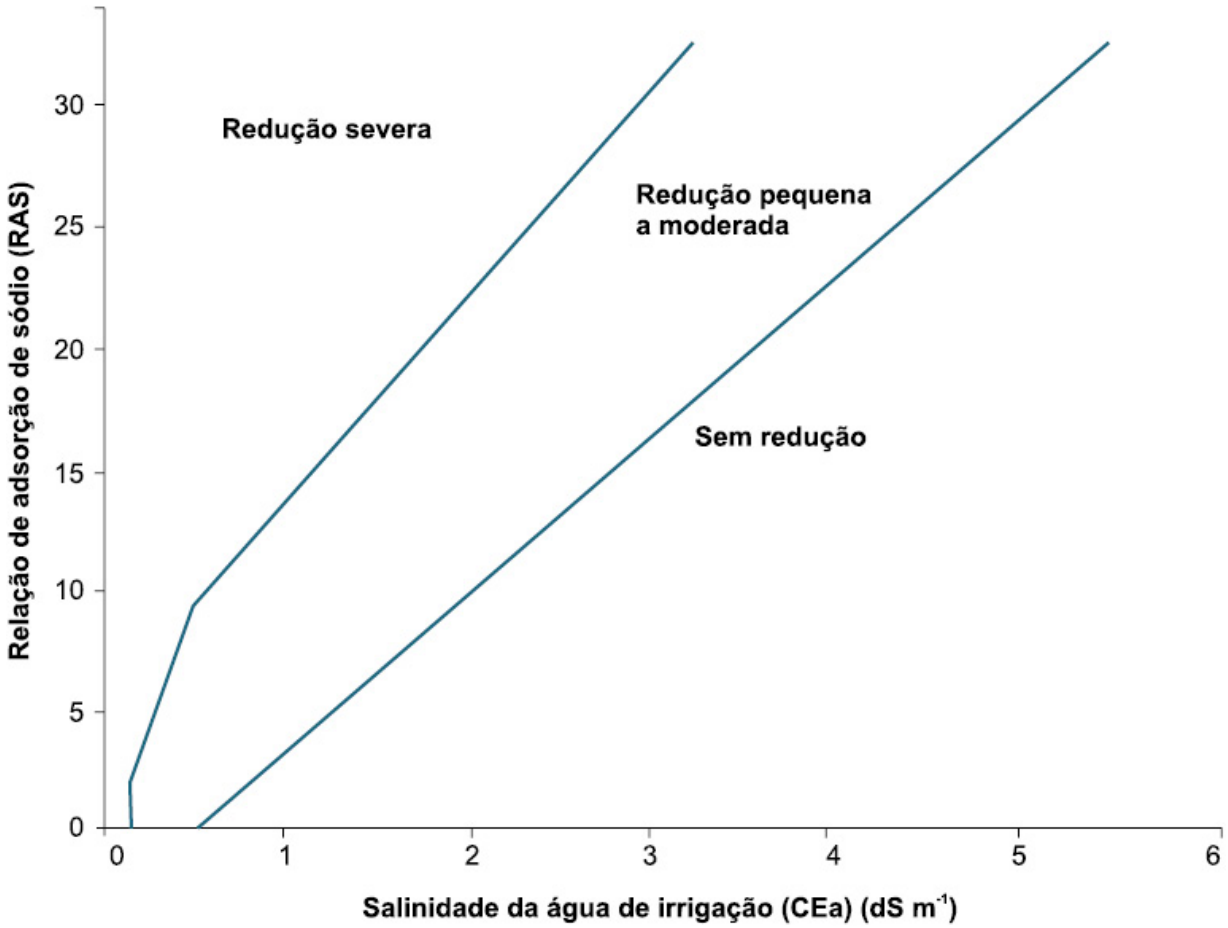


Figura 1. Redução relativa da infiltração provocada pela salinidade e a relação de adsorção de sódio.

Fonte: Oster e Schroer (1979) e Rhoades (1977).

Entretanto, é importante ressaltar que os limites entre as classes não são fixas, variando com as condições climáticas, tipo de solo, cultura irrigada, etc. No entanto, os valores indicados na Tabela 4 foram estabelecidos para determinadas áreas com suposições, tais como: rendimento potencial, em que não há restrições de uso de águas e as culturas têm capacidade de alcançar potencial máximo de produção sem necessidade de práticas especiais; condições do lugar, em que se levam em consideração os solos de textura média e clima monçônico; frequência e método de irrigação, admitindo-se que os métodos são empregados com frequência tal que permita

extração de pelo menos 50% da água disponível, e método de extração de água pelas culturas, utilizando-se o padrão de extração de água 40%, 30%, 20% e 10% na zona radicular com 15% de lixiviação.

Importância da composição iônica da água na preparação da solução nutritiva

A solução nutritiva é composta de H_2O e íons nutrientes às plantas. Esses íons podem ser provenientes da água utilizada para o preparo da solução e dos sais adicionados (fertilizantes). Dessa forma, é primordial a realização de análise da água, visto que nela podem estar presentes elementos essenciais à nutrição das plantas, como o cálcio, o magnésio, o enxofre e o boro, em quantidades suficientes ao requerido (LOPEZ, 2000). Assim como é possível a presença de nutrientes em quantidades ideais, a ocorrência de concentrações inferiores é bastante observada; contudo, o mínimo encontrado pode ser subtraído do total a ser aplicado, tendo em vista que os fertilizantes a serem adicionados são adquiridos com investimento de capital.

O excesso de alguns íons também deve ser observado na água utilizada, pois relações de equilíbrio antagônico podem atingir valores que prejudiquem a absorção de um determinado nutriente, que, mesmo estando em concentração adequada, pode não ser absorvido pela planta (GRATTAN; GRIEVE, 1993).

Assim como são importantes à compatibilidade entre fertilizantes a serem misturados em um evento de fertirrigação, os íons presentes na água devem ser observados durante o preparo da solução nutritiva. De maneira geral, ocorre que, em razão da solubilidade, os adubos sulfatados são incompatíveis com os adubos em que o cálcio se encontra em sua composição. Também, os adubos fosfatados não devem ser misturados a adubos com cálcio e magnésio na formulação química. Da mesma forma, águas ricas em cálcio e magnésio não devem ser utilizadas no preparo de soluções nutritivas com adubos sulfatados e fosfatados, com risco de precipitação no tanque de mistura, na tubulação e nos orifícios dos emissores.

Considerações finais

A qualidade da água a ser utilizada na fertirrigação deve ser um dos primeiros fatores a serem observados durante o projeto de implantação de um sistema. As diversas implicações, seja no solo, seja na planta, seja no sistema de irrigação, exigem uma avaliação rigorosa dos diferentes critérios apresentados, sob pena de causarem prejuízos irreversíveis e penalizar a sustentabilidade da atividade.

Além de prejuízos ao sistema de irrigação (entupimento e corrosão), o uso de água de qualidade não adequada pode ocasionar queda do rendimento das culturas, associada aos processos de salinização e sodificação do solo.

O conhecimento da concentração iônica da água a ser utilizada na fertirrigação permite ainda economizar na aplicação de fertilizantes e planejar técnicas de manejo apropriadas, visando minimizar danos ao sistema e impactos ao ambiente.

Referências

ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADA, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. Madrid, ES: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 316 p.

AGUIAR, P. A. A. Pré-tratamento de sementes de arroz como meio de superar o efeito da salinidade na germinação e vigor. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 1, p. 65-70, 1979.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

BAR-YOSEF, B. Fertilization under drip irrigation. In: PALGRAVE, D. A. (Ed.) **Fluid fertilizer**: science and technology. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 285-329. (Fertilizer Science and Technology Series, 7).

BERSTEIN, L. **Salt tolerance of plants**. Washington, DC: USDA, 1964. 23 p.

BIEZOK, I. **Concrete corrosion – concrete protection**. Budapest, HU: Hungarian Academy of Science, 1972. 500 p.

BLISS, E. D.; PLATT-ALLOIA, K. A.; THOMPSON, W. W. Effects of salt on cell membranes of germinating seeds. **California Agriculture**, Berkeley, v. 38, n. 10, p. 24-25, 1984.

CAMPOS, I. S.; ASSUNÇÃO, M. V. Estresse salino e hídrico na germinação e vigor do arroz (*Oryza sativa* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 6, p. 857-862, 1990.

CASARINI, E.; FOLEGATTI, M. V. Aspectos relevantes na fertirrigação de flores e hortaliças. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.). **Fertirrigação**: citrus, flores e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 441-458.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1989. 337 p.

CHRISTIANSEN, J. E.; OLSEN, E.; WILLARDSON, L. S. Irrigation water quality evaluations. **Journal of the Irrigation and Drainage**, New York, v. 103, p. 155-169, 1977.

DONEEN, L. D. Water quality for irrigated agriculture. In: POLJAKOFF-MAY-BER, A.; GANE, J. (Ed.). **Plants in saline environments**. New York: Springer-Verlag, 1975. p. 56-76. (Ecological Studies, 15).

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles: emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) **Trickle Irrigation for crop production**: design, operation and management. Amsterdam, NL: Elsevier Science Publishers B.V., 1986. p. 142-240.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Plant and crop stress**. Tucson: Macel Dekker, 1993. p. 203-226.

HERNANDEZ, F. B. T. Potencialidades da fertirrigação. In: vitti, g. C.; boareto, a. e. (Coord.). **Fertilizantes fluídos**. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 215-225.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: O autor, 2000. 509 p.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDIEROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB: SBEA, 1997. p. 113-136.

LOPEZ, C. C. **Fertirrigación**: cultivos hortícolas y ornamentales. 2. ed. Madrid, ES: Mundi Prensa, 2000. 475 p.

MEDEIROS, J. F. de. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. 1998. 152 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MEDEIROS, J. F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE. 1992**. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

NAKAYAMA, F. S. Operational principles: water treatment. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.). **Trickle irrigation for crop production**: design, operation and management. Amsterdam, NL: Elsevier Science Publishers B.V., 1986. p. 164-187.

OSTER, J. D.; SCHROER, F. W. Infiltration as influenced by irrigation water quality. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 43, p. 444-447, 1979.

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

PIZARRO CABELLO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madrid, ES: Editorial Agrícola Española, 1985. 542 p.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**: goteo, microaspersión, exudación. 2. ed. Madrid, ES: Mundi Prensa, 1990. 459 p.

RHOADES, J. D. Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation. In: WATER MANAGEMENT FOR IRRIGATION AND DRAINAGE, 1977, Reno. **Proceedings**… New York: ASCE, 1977. p. 85-116.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; SCHULBACK, H. Management principles: fertilization. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.). **Trickle irrigation for crop production**: design, operation and management. Amsterdam, NL: Elsevier Science, 1986. p. 317-344.

SARIN, M. N.; NARAYANAN, A. Effects of soil salinity and growth regulators on germination and seedling metabolism of wheat. **Physiology Plant**, Rockville, v. 21, p. 1201-1209, 1968.

SCOFIELD, C. S. The salinity of irrigation water. **Smithsonian Institution Annual Report**, Washington, DC, v. 1935, p. 275-287, 1936.

SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

STROGONOV, B. P. Physiological basis of salt tolerance of plants. In: ISRAEL PROGRAM FOR SCIENTIFIC TRANSLATION, 1964, Jerusalem, IL. **Proceedings**... Jerusalem, IL, 1964. 279 p.

THORNE, D. W.; PETERSON, H. B. **Irrigated soils**: their fertility and management. 2nd ed. Bombay: McGraw-Hill, 1954. 382 p.

THREADGILL, E. D.; EISENHAUER, D. E.; YOUNG, J. R.; BAR-YOSEF, B. Chemigation. In: HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. (Ed.). **Management of farm irrigation systems**. Saint Joseph: ASAE, 1992. p. 749-780.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANTS. **Guidelines for interpretation of water quality for agriculture**. Davis: University of California, 1974. 13 p.

VERMEIREN, I.; JOBLING, J. A. **Riego localizado**. Roma, IT: FAO, 1986. 203 p. (Estudios FAO: Irrigación y Drenaje, 36).

WILCOX, L. V. **The quality of water for irrigation use**. Washington, DC: US Department of Agriculture, 1948. 40 p. (USDA. Technical Bulletin, 962).

YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, E.; DANFORS, E.; VAADID, Y. (Ed.). **Arid zone irrigation**. Berlin, DE: Spring, 1973.

Capítulo 4

Métodos e sistemas de irrigação

Edson Alves Bastos
Carlos César Pereira Nogueira
Marcos Emanuel da Costa Veloso
Aderson Soares de Andrade Júnior
Valdemício Ferreira de Sousa
Vital Pedro da Silva Paz

Introdução

O emprego da irrigação na horticultura tem crescido substancialmente no Brasil, motivado pelos resultados positivos que propiciam, com destaque para o incremento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos e possibilidade de oferecer produtos na entressafra.

Paralelamente a esse crescimento, observa-se o aumento da demanda de água pela população e por indústrias e hidroelétricas. Considerando que a água é um recurso natural não renovável e cada vez mais escasso em termo de quantidade e qualidade, surge a necessidade do uso racional da água em cada um desses setores.

Na agricultura irrigada, a escolha do método e do sistema de irrigação é o ponto de partida para se estabelecer um planejamento e manejo adequado da irrigação, a fim de propiciar ao produtor

possibilidades de usar o recurso água com a máxima eficiência, aumentando a produtividade das culturas, reduzindo os custos de produção e maximizando a receita líquida dos investimentos.

A seleção do método e do sistema de irrigação deve considerar aspectos técnicos e de viabilidade econômica, possibilitando a melhor adequação do sistema a cada situação em particular.

Os métodos se referem à forma de aplicação de água às plantas e podem ser divididos em quatro, dos quais derivam os principais sistemas: a) sistema de irrigação por superfície; b) sistema de irrigação por aspersão; c) sistema de irrigação localizada; d) sistema de irrigação subsuperfícial.

Irrigação por superfície

Na irrigação por superfície, a água alcança as plantas de forma direta por escoamento sobre a superfície do terreno cultivado. Normalmente, há necessidade de bombeamento da água desde a fonte de abastecimento até pelo menos o canal principal. Em outros casos, a água pode chegar até os canais por gravidade, dependendo da declividade do terreno.

O método de irrigação por superfície é subdividido em quatro principais sistemas de irrigação: a) irrigação por sulcos; b) bacias em nível; c) irrigação por faixas; d) irrigação por inundação. Para as fruteiras e hortaliças, recomendam-se apenas os sistemas por sulcos e bacias em nível.

Sistema por sulcos

Os sulcos são pequenos canais construídos entre as linhas de plantio, com a finalidade de conduzir e distribuir a água à área irrigada. São adaptáveis à maioria das fruteiras e hortaliças, em terrenos com declividade longitudinal entre 0,0% e 0,8%, solos com velocidade de infiltração básica inferior a 25 mm h^{-1} e em qualquer condição de velocidade do vento. Segundo Scaloppi (1986), o gradiente transversal do terreno pode atingir de 10% a 15%. Acima desses valores, aumenta muito o risco de transbordamento dos sulcos, o que pode causar grandes problemas de erosão.

O espaçamento entre sulcos é variável segundo o perfil molhado do solo, estando muitas vezes condicionado às culturas, ao tipo de plantio e aos equipamentos utilizados. A distância mais comum varia de 0,8 m e 1,8 m, podendo chegar até 3,0 m (VIEIRA, 1983). Nos solos de textura argilosa, o espaçamento pode ser maior, permitindo uma maior movimentação lateral da água. A Figura 1 mostra o perfil transversal de umedecimento em dois tipos de solos irrigados por sulcos.

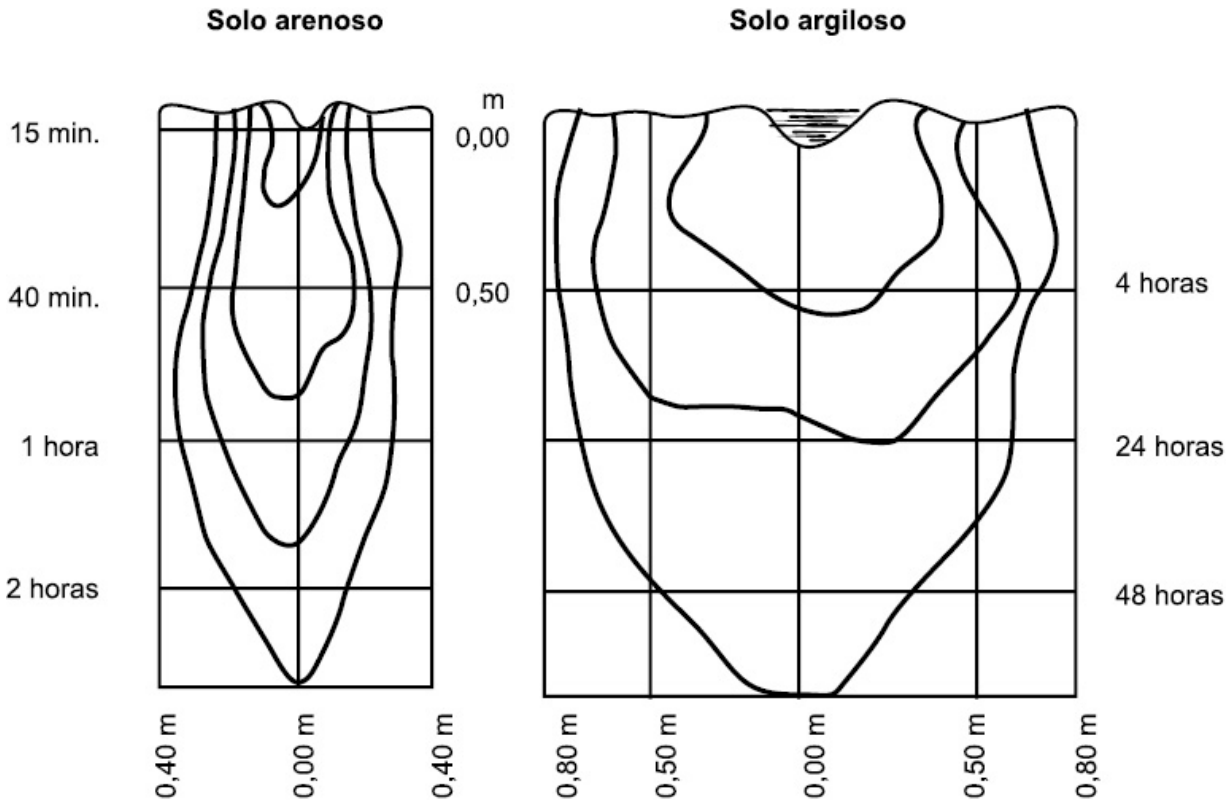


Figura 1. Distribuição da umidade em dois tipos de solos irrigados por sulcos.

Fonte: Vieira (1983).

O comprimento dos sulcos é função da capacidade de infiltração, do volume de água disponível, do grau de erodibilidade do solo e da declividade do terreno, devendo ser tal que o perfil molhado ao longo do sulco seja o mais uniforme possível. Em solos arenosos, podem ocorrer perdas excessivas de água por percolação no início do sulco e, em solos argilosos, podem ocorrer excessos por escoamento superficial. Para a definição do comprimento mais adequado do sulco, é necessário o conhecimento da curva de avanço da água, a qual é determinada por meio de testes em campo, conforme metodologia descrita em Bernardo (1989a) e Scaloppi (1986).

As principais vantagens do sistema de irrigação por sulcos, quando comparado aos sistemas por aspersão, são: o baixo investimento inicial, o não molhamento das folhas e a possibilidade de utilização de água com resíduos orgânicos. No entanto, a lentidão da irrigação, a necessidade de grande mão de obra e os obstáculos aos trabalhos de máquinas são os maiores inconvenientes. Uma ilustração desse sistema é apresentada na Figura 2.



Figura 2. Sistema de irrigação por sulco nas culturas de tomate tutorado (A) e de cebola (B).

Fotos: Waldir Aparecido Marouelli (A) e Nivaldo Duarte Costa (B)

Sistema por bacias em nível

Na irrigação por bacias em nível (Figura 3), o terreno deve estar sistematizado de forma que a distribuição de água seja a mais uniforme possível, com riscos mínimos de erosão do solo. São

adaptáveis à maioria das fruteiras e a solos de textura média a argilosa, e o relevo da área deve ser plano a suavemente ondulado, com o propósito de reduzir custos com a sistematização. Já no caso das hortaliças seu uso é mais restrito, pois a maioria é sensível ao excesso de água no solo. No Brasil tem sido utilizada por pequenos produtores para a irrigação de cebola e alho, por exemplo.



Figura 3. Sistema de irrigação por bacia em nível na cultura da cebola.

Foto: Nivaldo Duarte Costa

Na prática, a água é aplicada em uma das extremidades da bacia em nível e flui por efeito do gradiente hidráulico por meio dos sulcos de base larga que distribuem a água por toda a área. Esses sulcos são interligados nas extremidades para melhor distribuição da água de irrigação. O perfil de molhamento será tanto melhor quanto

menor for o tempo de avanço da água desde o início até o final da bacia (BARRETO et al., 1992).

A quantidade de água de irrigação deve basear-se na evapotranspiração da cultura, na dimensão do compartimento e no tempo de irrigação, podendo-se admitir a formação de uma lâmina d'água que se infiltrará posteriormente. Não é aconselhável que o tempo de infiltração seja superior a 24 horas, pois pode causar prejuízos à maioria das culturas. Outro aspecto importante é evitar o contato direto da água com o tronco das plantas (VIEIRA, 1983).

A base para o dimensionamento da irrigação por bacias em nível encontra-se descrita em Barreto et al. (1992). Segundo os autores, as principais vantagens do sistema são:

- Melhoria da eficiência de aplicação de água (podendo superar 90%), em razão do escoamento superficial nulo e da redução das perdas por percolação.
- Economia de energia elétrica em caso de bombeamento.
- Redução da necessidade de infraestrutura de drenagem por aplicar menor quantidade de água.
- Facilidade de cálculo para quantificar e aplicar a água de irrigação.
- Desafogamento da rede hidráulica em virtude da economia de água.
- Redução da construção de canais.
- Redução dos riscos de erosão em decorrência do nivelamento da área.

As principais desvantagens do sistema por bacias em nível são (BARRETO et al., 1992):

- Requer maior precisão na sistematização.
- Necessita de vazões mais elevadas para reduzir o tempo de avanço da água na bacia.
- Requer maiores cuidados com a drenagem de emergência na época
- das chuvas.
- Requer estruturas hidráulicas específicas para cada setor e bacia, como dissipadores, comportas, etc.

Irrigação por aspersão

É o método que utiliza aspersores para aplicar água na área total em forma de chuva. Nesse método, a água é conduzida desde a fonte de abastecimento até a área cultivada (impulsionada por uma estação de bombeamento) por meio de tubulações ou condutos forçados e é distribuída às plantas pelos bocais dos aspersores das mais diversas capacidades e características de fabricação.

O método de irrigação por aspersão é adaptável para: a) superfícies planas e inclinadas (aspersão convencional – móvel ou fixa); b) qualquer taxa de infiltração de água do solo; c) todas as culturas; d) locais com ventos amenos ($\leq$ 2 m s^{-1}).

Existem diversos sistemas de irrigação por aspersão, classificados nas mais variadas formas (BERNARDO, 1989a; FARIA, 1983; GOMES, 1994a; PAZ et al., 1999; SCALOPPI, 1986); porém, neste capítulo serão apresentados apenas os mais utilizados na irrigação de fruteiras e hortaliças, os quais podem ser divididos em dois

grupos: a) aspersão convencional (portátil, semiportátil e fixo); b) aspersão mecanizada (pivô central e autopropelido).

Sistema por aspersão convencional

Entre os sistemas por aspersão, os de aspersão convencional são os mais empregados na horticultura, pois se adéquam a diversas fruteiras e hortaliças (Figura 4), solos, topografias, formas e tamanhos de área a irrigar.



Figura 4. Sistema de irrigação por aspersão convencional nas culturas de repolho (A) e batata (B).

Fotos: Waldir Aparecido Marouelli

Os sistemas convencionais podem ser apresentados em diferentes tipos. Em geral, são constituídos por linhas principal, secundárias e laterais. A mobilidade dessas linhas define os diferentes tipos de sistemas (GOMES, 1994a; PAZ et al., 1999).

Sistema portátil

No sistema por aspersão convencional portátil, todas as linhas e componentes deslocam-se na área irrigada. A superfície total a ser irrigada pode ser dividida em setores e o sistema é desmontado após a irrigação de um setor e montado em outra. Nesse caso, tem-se um menor custo de aquisição; porém, o custo operacional é elevado em razão da quantidade de mão de obra requerida para o deslocamento das tubulações; pode ser empregado para diversas culturas, mas é indicado para pequenas áreas.

Sistema semiportátil

No sistema semiportátil, também conhecido como semifixo, as linhas principal e secundárias, que podem ser enterradas (em caso de fruteiras perenes) ou não (fruteiras anuais e hortaliças), permanecem fixas e as linhas laterais se deslocam nas diferentes posições da área irrigada. Assim como no sistema portátil, as tubulações, conexões e acessórios são leves, facilitando o deslocamento manual. É o sistema de aspersão mais utilizado, dada a versatilidade operacional, podendo ser utilizado também para fins de irrigação suplementar (quando as chuvas não são suficientes para atender à demanda hídrica das culturas).

Sistema fixo temporário

No sistema convencional fixo temporário, as tubulações (linhas principal, secundárias e laterais) não são enterradas, e sim

dispostas sobre o terreno; permanecem fixas durante o ciclo da cultura, podendo ser deslocadas para outras áreas no final do ciclo.

Sistema fixo permanente

Todas as tubulações do sistema fixo permanente são enterradas na área irrigada e apenas os registros e as hastes dos aspersores afloram na superfície do terreno. Esse sistema apresenta alto custo de aquisição, justificando-se para irrigação de áreas pequenas, fruteiras e hortaliças de maior valor econômico e em regiões onde a mão de obra é escassa ou cara.

As principais vantagens dos sistemas de aspersão convencional são:

- Dispensam o preparo ou sistematização do terreno.
- Em virtude da grande diversidade de aspersores no mercado, permitem uma ampla variação de vazão e pulverização do jato, possibilitando seu uso em diversas culturas e solos.
- Permitem um bom controle da lâmina de água a ser aplicada e, consequentemente, uma boa eficiência (maior economia de água).
- Possibilitam economia de mão de obra.
- Não proporcionam áreas mortas (canais e estruturas), comuns em sistemas de irrigação por superfície.
- Permitem a aplicação de fertilizantes e defensivos via água de irrigação.

Entre as limitações, destacam-se:

- Requerem altos investimentos iniciais.
- A distribuição de água é muito influenciada por fatores climáticos, especialmente o vento.
- Favorecem o aparecimento de algumas doenças.
- Podem oferecer riscos ao selamento da superfície em alguns tipos de solo.
- São impróprios para águas com elevados teores de sais.

Sistema por aspersão mecanizada

Os sistemas de irrigação por aspersão não convencional foram desenvolvidos, a princípio, para atender às condições especiais de topografia, tamanho e forma da área a irrigar. Compõem a aspersão não convencional, principalmente, os sistemas pivô central, autopropelido (aspersores autopropelidos), deslocamento linear (linha lateral com movimentação longitudinal) e sistemas de montagem direta. Alguns desses sistemas têm uso restrito e são fabricados por encomenda para algumas condições especiais da irrigação.

Pivô central

O pivô central é um sistema de irrigação por aspersão que opera em círculos. É constituído de uma linha lateral com aspersores, ancorada em uma das extremidades (ponto do pivô) e suportada por torres, dotadas de rodas e equipadas com unidades propulsoras que

são responsáveis pelo deslocamento do equipamento (BERNARDO, 1989a; GOMES, 1994a; PAZ et al., 1999). A torre mais externa controla a velocidade das demais e o alinhamento de todas as torres é garantido por um sistema de guias localizado em cada uma delas.

O pivô central é controlado por meio de um painel principal, onde o operador liga, desliga, seleciona a velocidade das torres e examina todo o sistema. Em operação normal, o movimento pode ser ajustado no sentido horário. Um dispositivo denominado temporizador percentual (percentímetro) comanda o intervalo de tempo que o motor da última torre deverá funcionar no espaço de 1 minuto (PAZ et al., 1999). Assim, com o temporizador ajustado em 100%, a última torre estará em velocidade máxima, pois não haverá parada. Ajustando em 50%, a última torre movimentar-se-á por 30 segundos e permanecerá parada durante o mesmo tempo, aplicando uma lâmina de água maior que no primeiro caso.

Quanto à pressão de serviço, o pivô pode operar em baixa, média ou alta pressão, isto é, pressões da ordem de 2 kgf cm^{-2} a 6 kgf cm^{-2} (PAZ et al., 1999). Em razão da pressão de serviço, do número de torres e do tamanho dos aspersores, a vazão de um pivô pode chegar até a 550 m^3 h^{-1}. Para aumentar a eficiência de aplicação de água, podem ser utilizados tubos de descida na linha lateral do pivô (Figura 5). Na extremidade final do balanço, pode existir um canhão hidráulico, em geral acionado por uma bomba de aproximadamente 5 cv, com a finalidade de aumentar a área irrigada sem a necessidade de aumentar o comprimento da tubulação de distribuição.

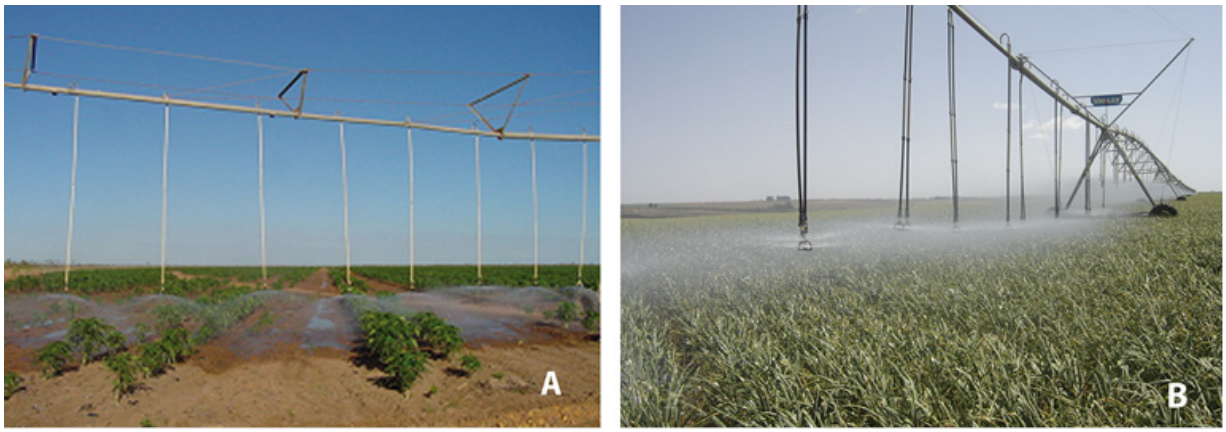


Figura 5. Sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central com tubo de descida na cultura do mamão (A) e do alho (B).

Fotos: Osvaldo Kiyoshi Yamanishi (A) e Waldir Aparecido Marouelli (B)

O pivô central pode ser aplicado a diversas fruteiras desde que o retorno econômico compense o elevado investimento inicial.

As principais vantagens do pivô central, segundo Bernardo (1989a) e Faria e Vieira (1986), são:

- Economia de mão de obra.
- Economia de tubulações quando se usa água subterrânea, pois pode dispensar adutora.
- Mantém o alinhamento e a velocidade de deslocamento em todas as irrigações.
- Após o término de uma irrigação, o sistema já se encontra na posição adequada para o início da irrigação seguinte.
- Permite uma boa uniformidade de aplicação de água, dependendo da velocidade do vento.

Como principais limitações do sistema pivô central, esses autores apontam:

Ocasiona perdas de áreas cultiváveis da ordem de 20% em decorrência da irrigação em áreas circulares.

Apresenta uma elevada intensidade de aplicação de água (30 mm h^{-1} a 60 mm h^{-1}), tornando-se necessário fazer uso de práticas que reduzam ou mesmo evitem o escoamento superficial.

Requer uma área totalmente livre de edificação, árvores ou qualquer elemento de grande porte para a livre movimentação da linha de irrigação.

É muito difícil mudá-lo de área para aumentar a área irrigada por unidade de equipamento.

Autopropelido

O autopropelido é um sistema de irrigação que contém uma tubulação de sucção, um conjunto motobomba, uma linha principal, um carretel enrolador e um carro irrigador com um aspersor do tipo canhão (Figura 6a). O carretel enrolador é formado pelo conjunto motriz e carretel com mangueira de polietileno, montados sobre chassi com 2 a 6 rodas e acoplamento à barra de tração do trator. O conjunto motriz engloba uma turbina hidráulica e uma caixa de redução de velocidade, que faz o enrolamento da mangueira no carretel.



Figura 6. Sistema de irrigação por aspersão tipo autopropelido na cultura da batata com canhão hidráulico (A) e com barra irrigadora (B).

Fotos: Waldir Aparecido Marouelli

A irrigação da faixa ocorre à medida que a mangueira vai sendo enrolada. O aspersor, montado sobre duas rodas no carro irrigador, na outra extremidade da mangueira, desloca-se a uma velocidade constante preestabelecida, irrigando, por vez, uma faixa de até 115 m de largura por até 650 m de comprimento (MAROUELLI et al., 2008).

Quando o carrinho alcança o final de cada faixa irrigada, a circulação da água desconecta-se automaticamente e se paralisa o sistema automotriz. Para continuar a irrigação, o equipamento é transportado para a faixa vizinha, onde se repete o mesmo processo de funcionamento. Dessa forma, o sistema automotriz passeia por todas as faixas até que toda a área seja irrigada (GOMES, 1994a).

Segundo Marouelli et al. (2008), o carretel enrolador autopropelido substitui com vantagens os antigos sistemas autopropelidos, onde todo o conjunto motriz se deslocava juntamente com o aspersor ao longo da faixa irrigada, arrastando uma mangueira flexível. Dentre as vantagens destacam-se o melhor controle de velocidade de

deslocamento do carro irrigador e o menor tamanho de gotas dos canhões atuais.

No mercado, encontram-se autopropelidos cujo canhão hidráulico é substituído por uma barra irrigadora (Figura 6b). Esse tipo de autopropelido é indicado somente para áreas de pouca declividade, com a vantagem de uma melhor uniformidade de distribuição de água e gotas de menor tamanho. A barra, que pode ter comprimento superior a 50 m, é dotada de aspersores do tipo spray com pressão de serviço entre 100 kPa e 300 kPa, o que reduz o consumo de energia. A barra é geralmente montada sobre um carro com quatro rodas e pode ter sua altura ajustada (MAROUELLI et al., 2008).

O autopropelido pode ser utilizado em fruteiras e hortaliças, cujas folhas sejam resistentes ao impacto das grandes gotas lançadas pelo aspersor. É apropriado para solos arenosos e franco-arenosos e áreas regulares.

Como vantagens desse sistema, podem ser citadas: a) custo de implantação relativamente baixo; b) prático e de fácil manejo no campo; c) necessita de pouca mão de obra. As principais limitações são: a) requer alta pressão e, consequentemente, elevado consumo de energia; b) não é indicado para áreas declivosas e com baixo índice de cobertura vegetal; c) a distribuição de água é bastante afetada pelo vento.

Irrigação localizada

A irrigação localizada surgiu comercialmente em Israel na década de 1960. O desenvolvimento tecnológico dos tubos de PVC (cloreto de polivinil) e polietileno de baixa densidade contribuiu sensivelmente para o sucesso desse tipo de irrigação. No Brasil esse método surgiu na década de 1970 (microaspersão) e 1980 (gotejamento).

Foi o método de irrigação que destacadamente mais cresceu nos últimos anos no Brasil. A área irrigada, que em 1996 foi de 117.730 ha, saltou para 337.755 ha em 2004, um aumento de 187%. Em 2004, as maiores áreas irrigadas por sistemas localizados se concentraram nas regiões Nordeste (52,3%) e Sudeste (34,1%) do País (CHRISTOFIDIS, 2001; PRIETO et al., 2010). Dentre os sistemas localizados, a irrigação por microaspersão é mais utilizada na fruticultura, enquanto o gotejamento é mais utilizado na produção de hortaliças.

A irrigação localizada caracteriza-se por aplicar água ao solo, de forma localizada, diretamente sobre a área de maior concentração do sistema radicular das plantas, em pequena intensidade, porém com alta frequência, mantendo o solo próximo da capacidade de campo (BERNARDO, 1989b). Na irrigação por gotejamento, a água é aplicada às plantas em forma de pequenas gotas, utilizando-se geralmente baixa pressão de serviço e menor demanda de energia. É o sistema mais sensível ao entupimento, requerendo, portanto, que a água seja bem-filtrada. No sistema de irrigação por microaspersão, a água é aspergida e distribuída em forma de círculo ou semicírculo e a filtragem é menos rigorosa. Os modelos que não são providos de giro são chamados de difusores. O sistema xiquexique é bem mais simples; entretanto, apresenta baixa distribuição de água e entupimento dos orifícios que distribuem a

água por pequenos furos na própria canalização, os quais variam de 1 mm a 2 mm (SANTOS et al., 1997).

Os sistemas localizados são os mais eficientes na distribuição de água e na fertirrigação, permitindo ainda maior economia de mão de obra. São usados em forma de sistema fixo, com alto custo inicial, sendo recomendado, portanto, para fruteiras e hortaliças de elevado retorno econômico.

A área molhada junto às plantas também é uma das características desses sistemas e é de grande importância para o seu dimensionamento, manejo e sucesso do agronegócio. Nesse sentido, deve-se deixar uma área mínima molhada em torno de um terço da área sombreada. Keller e Karmeli (1975) recomendam áreas molhadas de 20% e 30% para as regiões úmidas e semiáridas, respectivamente.

Os principais componentes desse sistema são: adutora, linha principal, linha de derivação, secundária ou distribuição, linha lateral, emissores, cabeçal de controle, medidores de vazão (hidrômetros), válvulas, registros, manômetros, injetor de fertilizante e filtros. O dimensionamento do projeto de irrigação localizada depende da necessidade hídrica da cultura, da frequência de irrigação e da seleção dos emissores. Exemplos de dimensionamento podem ser observados em Bernardo (1989b) e Gomes (1994b).

As principais vantagens da irrigação localizada são: maior controle e eficiência do uso da água a ser fornecida à planta; baixo consumo de energia; possibilidade de funcionamento 24 horas por dia; mantém o solo próximo à capacidade de campo; menor desenvolvimento de ervas daninhas entre as linhas de plantio; facilidade de distribuição de produtos químicos via água de

irrigação; facilidade de automação; adapta-se a diferentes tipos de solo e topografia; economia de mão de obra.

As suas principais limitações são o entupimento dos emissores e o elevado custo inicial. Em razão da formação de um volume constante de solo umedecido, o sistema radicular tende a se concentrar nessa região, aumentando a possibilidade de tombamento das árvores frutíferas em regiões sujeitas a ventos fortes.

A principal diferença entre os sistemas de irrigação localizada e outros sistemas é que nos primeiros o balanço entre evapotranspiração e água aplicada é mantido em períodos compreendidos entre 24 e 72 horas (maior frequência de aplicação). A microaspersão (Figura 7) e o gotejamento (Figura 8) são os principais representantes dos sistemas de irrigação localizada em uso comercial. Existem outros tipos de sistemas, de usos mais restritos, como tubos gotejadores, tubos porosos e tubulações perfuradas a laser.



Figura 7. Sistema de microaspersão nas culturas do caju (A), do coco (B) e do tomate tutorado (C).

Fotos: Valdemício Ferreira de Sousa (A), Marcos Emanuel da Costa Veloso (B) e Waldir Aparecido Marouelli (C)



Figura 8. Sistema de gotejamento nas culturas do maracujá (A), melão (B) e banana (C).

Fotos: Valdemício Ferreira de Sousa (A e B) e Eugenio Ferreira Coelho (C)

Irrigação subsuperficial por gotejamento

O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, também conhecido por gotejamento subsuperficial, aparece em resposta à busca pela alta eficiência de irrigação. Tornou-se viável pelo melhor entendimento das relações solo-água-planta e fertilização. O sistema é caracterizado pelo fato de a emissão de água ser feita subsuperficialmente, com a frente de umidade tangenciando a superfície do solo, evitando a exposição de superfície molhada e reduzindo as perdas por evaporação. Difere da irrigação por gotejamento superficial pelos aspectos da formação do bulbo molhado, da operação e do dimensionamento (NOGUEIRA et al., 1997; NOGUEIRA, 1998).

No gotejamento subsuperficial a fonte de emissão deixa de ser pontual à medida que vai saturando a região mais próxima do emissor, proporcionando uma forma esférica para o bulbo molhado. Nogueira (1998), comparando a forma do bulbo molhado nos dois

sistemas, no mesmo momento e mesmo solo, ao final do ciclo de irrigação, observou que no sistema subsuperficial a forma do bulbo é esférica e 29% maior que o bulbo formado pelo gotejamento superficial, que apresentou forma semiesférica. Essa característica melhora a eficiência de uso da água e o desempenho da planta porque maximiza a transpiração, à medida que minimiza a evaporação e aumenta a produção.

O sistema subsuperficial pode ser indicado para qualquer tipo de solo, desde que se faça um estudo prévio da dinâmica da água no solo. Assim como no gotejamento superficial, a determinação da vazão do emissor é função da textura do solo. Quanto mais arenoso for o solo, maior deve ser a vazão do emissor e mais alta a frequência de irrigação.

Alguns cuidados devem ser observados na operação. Em Israel, por exemplo, é muito realizada a injeção de trifuralina na água de irrigação três vezes ao ano para evitar a intrusão de raízes nos orifícios, causada por deficit hídrico. Nos Estados Unidos, é comum a injeção de ácido fosfórico para limpar os gotejadores e prevenir a intrusão de raízes.

No dimensionamento, é imprescindível o uso de ventosas em todos os pontos altos do sistema para prevenir sucção e entrada de solução de solo (trazendo partículas sólidas que entopem os emissores) ao drenar a tubulação, especialmente em declives acentuados. Dessa forma, o sistema requer limpeza frequente, sendo recomendada a instalação de tubos secundários de lavagem que conectam os finais de todas as laterais para facilitar a limpeza rápida dos mesmos. Atualmente, estão sendo desenvolvidos

gotejadores com dispositivos antissucção que evitam tais problemas (NOGUEIRA et al., 1997).

Nogueira et al. (1997) citam como vantagens do sistema subsuperficial: a) mantém-se a qualidade do equipamento durante vários anos; b) grande economia de mão de obra e material; c) não existe influência direta de fatores climáticos como radiação solar e vento; d) a parte aérea das plantas não é molhada, reduzindo os riscos de doenças; e) melhor balanço de água e de ar no solo; f) o campo é mantido livre de plantas invasoras, o que proporciona redução de custos; g) os tratos culturais podem ser feitos de forma mais cômoda, independentemente do turno de irrigação; h) menor compactação do solo.

Analisando a sustentabilidade da irrigação localizada subsuperficial, Phene (1995) relata as vantagens desse sistema sobre o sistema de irrigação localizada superficial: a) aumento substancial da eficiência do uso da água; b) eliminação quase que total das perdas de água e nutrientes por percolação; c) longa durabilidade do sistema. Cita também outras vantagens que são exclusivas do gotejamento subsuperficial, as quais incluem: a) reduzida área de evaporação no solo; b) maior volume de solo molhado; c) sistema radicular distribuído em uma maior profundidade.

O sistema subsuperficial pode ser recomendado para fruteiras arbóreas (citros, coco, manga, etc.), desde que se tome o cuidado de distribuir os emissores corretamente sob a copa das árvores. O custo, um pouco maior em relação ao sistema por microaspersão, é compensado pelas inúmeras vantagens que apresenta.

Alguns inconvenientes devem ser ressaltados no caso do gotejamento subsuperficial: a) a necessidade de a irrigação ser feita

em alta frequência; b) os cuidados devem ser redobrados com o sistema de filtros; c) a necessidade de instalação de dispositivos de limpeza das linhas de irrigação com maior frequência; d) o mercado ainda não oferece muitas alternativas de equipamentos. Na Figura 9 são apresentados detalhes de um sistema de irrigação subsuperficial em fase de instalação e um sistema instalado na cultura do tomate para processamento.

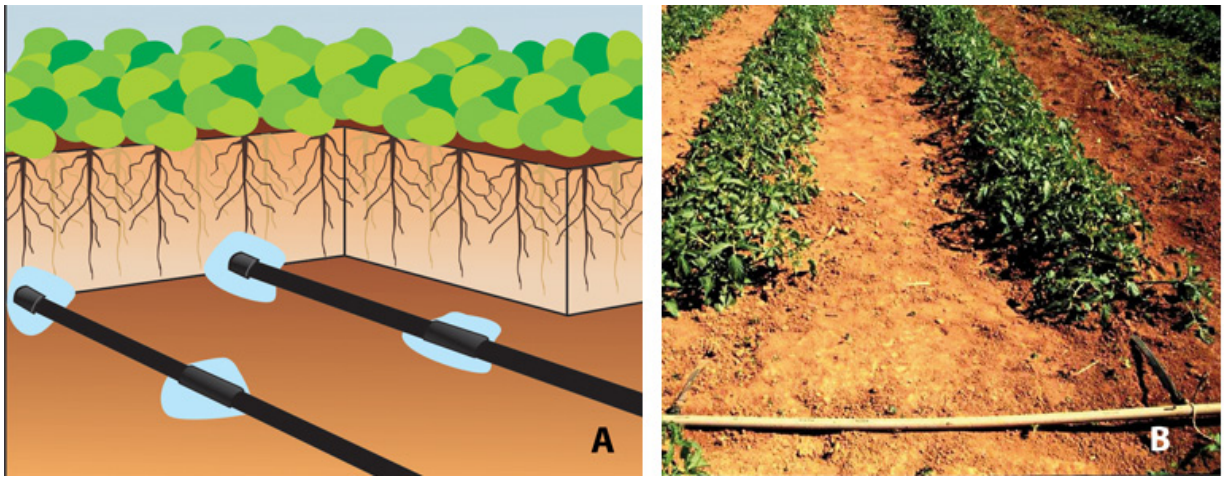


Figura 9. Sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial: diagrama esquemático (A) e cultura do tomate (B).

Ilustração: Anapaula Lopes (A) e foto de Waldir Aparecido Marouelli (B)

Considerações finais

Um adequado sistema de irrigação deve ser capaz de propiciar ao produtor a possibilidade de fazer uso do recurso água com a máxima eficiência, aumentando a produtividade das culturas, reduzindo os custos de produção e, consequentemente, maximizando o retorno dos investimentos.

A escolha adequada e criteriosa do método e do sistema de aplicação de água é importante para o sucesso do empreendimento com agricultura irrigada e, nessa escolha, todos os fatores devem ser considerados.

Os métodos de irrigação apresentam adaptabilidade a diversas situações. Segundo Telles (1988), duas situações podem ocorrer na prática e afetar a escolha do método e/ou sistema de irrigação:

a. **A água é escassa e/ou apresenta custo elevado** – Quando os suprimentos de água tornam-se limitados, o sistema de irrigação deve ser projetado e manejado para maximizar a produção por unidade de água aplicada. Nesses casos, se não existirem outras condições limitantes, logicamente deve-se optar pelos sistemas de irrigação localizada, que aplicam água com maior eficiência em relação aos demais sistemas.
b. **A terra é escassa e/ou apresenta custo elevado** – O sistema de irrigação a ser selecionado deve atender a uma maximização da produção por unidade de área, visto que o suprimento de água é facilmente disponível ou os custos de irrigação não são elevados. Nesses casos, se não existirem outras condições limitantes, deve-se optar pelos sistemas de irrigação por aspersão ou por superfície, uma vez que não é exigida elevada eficiência na aplicação de água. Entretanto, é fundamental que os custos com investimentos (principalmente os custos fixos) sejam os menores possíveis, viabilizando economicamente o empreendimento.

É importante destacar que as situações acima mencionadas são de caráter geral. Muitas vezes poderá ocorrer a necessidade de definir-se pela escolha de um determinado método e/ou sistema de irrigação com base em outros parâmetros. Fancelli e Dourado Neto (2000) destacam: a) potencial hídrico (vazão disponível na propriedade); b) situação topográfica (dimensão e forma da área, uniformidade topográfica e gradiente de declive); c) qualidade e custo da água; d) solo (características morfológicas e capacidade de retenção de água); e) clima (chuva, vento, potencial evaporativo do ar – temperatura e umidade relativa, e ocorrência de geadas); f) culturas (sistema de plantio, densidade de plantio/semeadura,

profundidade efetiva das raízes, altura das plantas e valor econômico).

O certo é que não há um método de irrigação ideal. Cada situação em particular deve ser analisada, sugerindo-se soluções em que as vantagens inerentes possam compensar as limitações naturais dos métodos de irrigação.

Referências

BARRETO, A. N.; NOGUEIRA, L. C.; CAMPOS, G. M. **Irrigação por bacias em nível na cultura da bananeira**. Parnaíba: EMBRAPA-CNPAI, 1992. 33 p. (EMBRAPA-CNPAI. Circular Técnica, 4).

BERNARDO, S. Irrigação localizada. In: BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989b. p. 481-534.

BERNARDO, S. Irrigação por aspersão. In: BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989a. p. 367-478.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, n. 49, p. 8-13, 2001.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Irrigação. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 147-182.

FARIA, M. A. Irrigação por aspersão convencional. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, n. 100, p. 24-32, 1983.

FARIA, M. A.; VIEIRA, J. Irrigação por aspersão: sistemas mais usados no Brasil. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 27-39, 1986.

FULTON, A. E.; OSTER, J. D.; HAUSON, B. R.; PHENE, C. J.; GLODHAMER, D. A. Reducing drainwater: furrow vs. subsurface drip irrigation. **California Agriculture**, Oakland, v. 45, n. 2, p. 4-8, 1991.

GOMES, H. P. Irrigação por aspersão. In: GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa: UFPB, 1994a. p. 45-106.

GOMES, H. P. Irrigação por gotejamento. In: GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa: UFPB, 1994b. p. 175-231.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. [S.l.]: Rain Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2008. 150 p.

NOGUEIRA, C. C. P. **Dinâmica da água num solo podzólico vermelho amarelo sob irrigação localizada superficial e subsuperficial**. 1998. 60 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

NOGUEIRA, L. C.; NOGUEIRA, L. R. Q.; GORNAT, B.; COELHO, E. F. **Gotejamento subterrâneo**: uma alternativa para a exploração agrícola dos solos dos tabuleiros costeiros. Aracaju: Embrapa-CPATC, 1997. 20 p. (Embrapa-CPATC. Documentos, 6).

OLIVEIRA, S. L.; COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Irrigação e fertirrigação. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Org.). **Banana**: produção: aspectos técnicos. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 60-72. (Frutas do Brasil, 1).

PAZ, V. P. da S.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Irrigação por aspersão e localizada. In: HERNANDEZ, F. B. T. (Ed.). **Capacitação em agricultura irrigada**. Ilha Solteira: UNESP: Fundação de Ensino Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira, 1999. p. 1-11.

PHENE, C. J. The sustainability and potential of subsurface drip irrigation. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. **Proceedings**... Saint Joseph: ASAE, 1995. p. 359-367.

PRIETO, D.; RIVERA, R. C.; SILVA, H. R; MAROUELLI, W. A.; CHRISTOFIDIS, D.; ULLOA, A. O.; SCHOUWEN, G. S. V.; ESPADA, R. F.; BLANCO, M. O.; JARA, R. G.; GARCÍA, C.; ROEL, A. **El riego en los países del Cono Sur**. Montevidéu: IICA: Procisur, 2010. 112 p.

SANTOS, F. J. de S.; MIRANDA, F. R. de; OLIVEIRA, V. H.; SAUNDERS, L. C. V. **Irrigação localizada**: microirrigação. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1997. 48 p. (EMBRAPA-CNPAT. Documentos, 23).

SCALOPPI, E. J. Sistemas de irrigação por superfície. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 12-26, 1986.

TELLES, D. D. **Métodos de irrigação**. Brasília, DF: Abeas, 1988. 112 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Fruticultura**: tecnologias de produção, gerenciamento e comercialização. Lavras: D4 Videographics, 1999. 1 CD-ROM.

VIEIRA, J. Irrigação de superfície. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, n. 100, p. 13-23, 1983.

Capítulo 5

Manejo da água de irrigação

Waldir Aparecido Marouelli
Áureo Silva de Oliveira
Eugênio Ferreira Coelho
Luis Carlos Nogueira
Valdemício Ferreira de Sousa

Introdução

A preocupação com o uso eficiente da água na agricultura irrigada cresce proporcionalmente com o aumento da escassez de água de boa qualidade, agravando a competição entre os diversos setores que dela dependem.

Embora a agricultura irrigada seja, geralmente, associada a um elevado nível tecnológico, é consenso que a irrigação no Brasil é ainda praticada de forma inadequada, com grande desperdício de água (MANTOVANI et al., 2006; MAROUELLI et al., 2008c). Estima-se que, de toda a água captada para fins de irrigação, não mais que 50% sejam efetivamente utilizados pelas plantas (CHRISTOFIDIS, 2004). Especificamente em sistemas de irrigação por superfície, as perdas chegam a percentuais bem maiores. Segundo Mantovani et al. (2006), tal problema ocorre em razão de três fatores principais: a) diminuta utilização de critérios técnicos de manejo de água na maioria das áreas irrigadas; b) informações escassas e incompletas

de parâmetros para manejo de água; c) uso de sistemas de irrigação com baixa eficiência de aplicação de água.

A aplicação de critérios técnicos adequados deve ocorrer tanto na fase de dimensionamento quanto durante a operação dos sistemas de irrigação. A escassez de informações completas sobre parâmetros de manejo de irrigação são sérios indicadores da existência de lacunas de resultados de pesquisa e da falta de sistematização das informações existentes. Já o uso de sistemas inadequados ao bom controle da irrigação é fruto de desinformação e/ou descapitalização para aquisição e implantação de sistemas mais modernos e eficientes. A experiência prática permite ressaltar também que o baixo nível de treinamento e capacitação dos técnicos e irrigantes, responsáveis diretos pela operação e manutenção dos sistemas de irrigação, tem uma imensa influência nas baixas eficiências de aplicação de água, principalmente nos países e regiões com menor nível tecnológico.

O desperdício de água na irrigação, além de aumentar os custos de produção, acarreta custos ambientais pelo comprometimento da disponibilidade e da qualidade da água. Essa situação tem levado muitos projetos de irrigação, em todo o mundo, a uma condição de baixa sustentabilidade econômica e socioambiental (CULLEN, 2004; OLIVEIRA et al., 2006; OSTER; WICHELNS, 2003). Segundo Oster e Wichelns (2003), a sustentabilidade de projetos de irrigação somente pode ser atingida por meio de ações efetivas tanto pelo agricultor quanto por órgãos públicos, visando minimizar o desperdício de água durante sua captação, condução e aplicação à cultura, a degradação das águas superficiais e subterrâneas e, no caso das regiões áridas e semiáridas, os problemas de salinização.

Mesmo quando as irrigações são realizadas em excesso, prática comum em região com disponibilidade de água, as plantas são, muitas vezes, submetidas a condições de deficit hídrico, comprometendo o desempenho da cultura. Isso ocorre porque o agricultor tende a aplicar quantidades de água maiores do que o solo pode armazenar e espaça em demasia o intervalo entre irrigações (MAROUELLI et al., 2008c). Além de suprir as suas necessidades hídricas, a água proporciona a solubilização e a disponibilização dos nutrientes do solo para as plantas. Ademais, cultivos submetidos a condições de excesso ou falta de água são, respectivamente, mais predispostos a doenças e ao ataque de pragas (LOPES et al., 2006). Por conseguinte, é possível aumentar a produtividade da maioria das culturas entre 10% e 30% e, ao mesmo tempo, reduzir o uso de água em até 30% somente por meio da adoção de estratégias apropriadas de manejo de irrigação (MAROUELLI et al., 2008c).

Segundo Rosegrant et al. (2002), ações para melhorar a eficiência do uso de água na agricultura irrigada devem ser focadas nos níveis técnico, gerencial e institucional. Melhorias técnicas incluem a adoção de sistemas de irrigação mais avançados, como a aspersão e, principalmente, o gotejamento e a microaspersão, o uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas, além do conceito de agricultura de precisão, incluindo estratégias para o monitoramento da demanda de água pelas plantas. Melhorias gerenciais, em nível da propriedade, incluem a adoção de estratégias de manejo de água com base na demanda da cultura e melhoria da manutenção de equipamentos. Em termos institucionais, a melhoria envolve a criação de comitês para o estabelecimento de regras sobre direitos

e uso eficiente da água e a introdução de tarifas para a cobrança da quantidade de água utilizada.

Aumentar a eficiência de aplicação de água na agricultura irrigada por meio da reconversão de sistemas de irrigação de baixa eficiência é, muitas vezes, a primeira opção a ser considerada. Todavia, a adoção de tal estratégia não garante redução do uso de água em níveis sustentáveis. Segundo Kongyan (2005) e Rosegrant et al. (2002), para aumentar a eficiência do uso de água, os agricultores, além de sistemas de irrigação mais eficientes, necessitam investir em novas tecnologias poupadoras de água, como aquelas relacionadas ao manejo racional de água, à redução das perdas de água por evaporação e à irrigação com deficit hídrico controlado. A adoção de tais tecnologias geralmente permite, segundo Kongyan (2005) e Lima et al. (1999), reduzir o gasto de água entre 10% e 50%, inclusive com incremento de produtividade.

Em quase todo o Brasil, é reduzida a frequência e fortes são as resistências ao uso de qualquer método de manejo racional da água de irrigação. O baixo índice de adoção dessas tecnologias deve-se, segundo Marouelli et al. (2008c), ao fato de os produtores acreditarem que são caras, complexas, trabalhosas e não proporcionam ganhos econômicos compensadores, ou seja, está relacionado a questões de ordem econômica e social.

O acesso do irrigante à tecnologia é ainda restrito, tanto pela falta de informação quanto pelo custo dos equipamentos e instrumentos destinados ao manejo. Em muitas regiões onde se pratica agricultura irrigada, o baixo nível de instrução dos irrigantes dificulta a implantação de estratégias mínimas de manejo. Acrescente-se o fato de que a água é barata ou sem custo e ainda tida como um

recurso natural inesgotável. Nesse contexto, a prática da irrigação é desvinculada de técnicas de manejo reconhecidamente capazes de proporcionar aumentos de produtividade e racionalização do uso da água.

Na agricultura irrigada, assim como em qualquer outro empreendimento, os benefícios da adoção de uma tecnologia devem superar os custos. A adoção de estratégias apropriadas para o manejo da água de irrigação é comumente viável do ponto de vista econômico e ambiental, já que possibilita incrementos de produtividade, melhoria da qualidade de frutas e hortaliças, redução do uso de água, energia e agroquímicos, e contribui para a mitigação do problema da redução gradual de fontes de água de boa qualidade (MAROUELLI et al., 2000; WESTHUIZEN et al., 1996).

O objetivo deste capítulo é apresentar e discutir os principais indicadores e métodos de manejo de irrigação, assim como os parâmetros necessários ao manejo adequado de água nas principais hortaliças e fruteiras cultivadas no Brasil.

Considerações gerais sobre manejo da água de irrigação

As questões sobre o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar são básicas no manejo da água de irrigação. O manejo deve ser feito visando fornecer água às plantas em quantidade suficiente para prevenir o estresse hídrico, favorecendo incremento de

produtividade e qualidade da produção, e minimizar o desperdício de água, a lixiviação de nutrientes e a degradação do meio ambiente. Isso envolve a decisão de irrigar em quantidades que possam ser armazenadas no solo, na camada correspondente à zona radicular, e em intervalos suficientes para atender à demanda de água das plantas.

Em condições de campo, as plantas encontram-se, durante todo o ciclo de desenvolvimento, sujeitas a estresses ambientais resultantes das variações temporais dos elementos do sistema solo-atmosfera, que influenciam as taxas de crescimento e desenvolvimento. O teor de água no solo é um dos mais significativos elementos desse complexo. Não havendo reposição de água pela chuva ou irrigação, a redução do teor de água no solo para níveis críticos, por longo tempo, acarretará alterações e desordens de natureza fisiológica com reflexos na anatomia, fenologia e crescimento das plantas e, por extensão, na produtividade e na qualidade do produto colhido.

O solo é um reservatório não somente de água, mas também de nutrientes e oxigênio, sendo ainda o ambiente onde proliferam microrganismos que interagem com as plantas e com o próprio meio. Variações da umidade do solo devem ser reguladas e mantidas em limites que favoreçam a absorção de água e nutrientes pelas plantas, bem como a aeração e a atividade microbiana, indispensável à decomposição da matéria orgânica e à estruturação do solo.

A necessidade hídrica de uma cultura, havendo disponibilidade de água no solo, é dependente das condições atmosféricas locais. Numa área vegetada, a mudança de estado físico da água e a

conseguinte remoção do vapor das superfícies evaporantes (solo e planta) para a atmosfera denominam-se evapotranspiração, sendo função da radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar. A quantidade de água a ser aplicada por irrigação deve otimizar a evapotranspiração da cultura em condições de irrigação total ou suplementar. Além disso, o manejo de água pode ser requerido para atender a outras finalidades secundárias, como a lixiviação do excesso de sais para além do sistema radicular das culturas, a aplicação de fertilizantes e agroquímicos, a proteção das plantas contra geadas, o resfriamento do solo e das plantas e a germinação de sementes (MARTIN; GILLEY, 1993).

Do refinamento do processo de manejo da água de irrigação, benefícios tipicamente esperados incluem (BRONER, 1993; MAROUELLI et al., 2008c):

- Redução das condições de estresse hídrico (excesso e/ou falta de água) à cultura.
- Redução das perdas de fertilizantes na medida em que minimiza as perdas de água por escoamento superficial e lixiviação.
- Redução de problemas de doenças de solo e da parte aérea, principalmente aquelas associadas a irrigações em excesso e/ou frequentes.
- Manutenção da salinidade na zona radicular das plantas em limites aceitáveis por meio de lixiviação planejada e controlada de sais.
- Redução de problemas de encharcamento do solo, reduzindo problemas de aeração e necessidade de drenagem.

- Aumento de produtividade das culturas e da qualidade dos produtos.
- Redução de despesas com água, energia, mão de obra, agroquímicos e manutenção do sistema de irrigação.
- Redução das perdas de água por percolação profunda, escoamento superficial e, consequentemente, a erosão dos solos.
- Melhoria da qualidade das águas subterrâneas e/ou superficiais a jusante.
- Potencialização do retorno do investimento pelo aumento da receita bruta e redução de custos.
- Ampliação da área irrigada, especialmente na época seca, em razão da economia de água.

Para fruteiras e hortaliças, as estratégias de manejo de água com o objetivo de maximizar o rendimento econômico são, em geral, bem semelhantes às estratégias visando ao máximo rendimento físico (produtividade/qualidade). Isso porque os custos variáveis associados à irrigação (água, energia e mão de obra) são pequenos (<5%) comparados ao custo operacional total para a produção da maioria das fruteiras e hortaliças (MAROUELLI et al., 1990, 2008a). Assim, as estratégias apresentadas a seguir visam maximizar a produtividade/qualidade das culturas por unidade de área, reduzindo-se ao máximo a quantidade de água aplicada às culturas. Em várias situações, a maximização da produtividade/qualidade somente é alcançada manejando-se a irrigação com um determinado nível de deficit hídrico, durante um ou mais estádios de desenvolvimento da cultura.

Indicadores para manejo da água de irrigação

De maneira geral, as irrigações devem ser realizadas quando a deficiência de água na planta causar decréscimo acentuado em suas atividades fisiológicas e, consequentemente, afetar o seu desenvolvimento e a sua produtividade. Na prática, a decisão de quando irrigar é simplificada de acordo com cada caso particular ou estratégia de manejo adotada, sendo, muitas vezes, tomada com base na avaliação da deficiência de água no solo ou conjuntamente por meio de indicadores com base na planta, no solo e/ou na atmosfera.

A quantidade de água que deve ser aplicada por irrigação é comumente a necessária para que o solo retorne a sua condição de capacidade de campo na camada de solo correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. Essa quantidade pode ser determinada, fundamentalmente, com base na avaliação da disponibilidade atual de água no solo ou na quantidade de água evapotranspirada pela cultura entre duas irrigações consecutivas. Havendo risco de salinidade, que pode ocorrer em regiões áridas e semiáridas ou em ambiente protegido, deve-se aplicar uma fração de água adicional para manter o balanço de sais no solo em nível adequado.

Vários são os indicadores disponíveis para a determinação do momento de irrigar e da quantidade de água a ser aplicada, podendo ser agrupados como segue:

Indicadores de manejo com base na planta.

Indicadores de manejo com base no solo.

Indicadores de manejo com base na atmosfera (evapotranspiração).

Os indicadores com base na planta possibilitam apenas estabelecer o momento de irrigar, enquanto aqueles com base na atmosfera permitem somente estimar a quantidade de água a ser aplicada por irrigação. Já os indicadores com base no solo geralmente possibilitam determinar quando e quanto irrigar. Na prática, é comum utilizar conjuntamente mais de um indicador do sistema solo-planta-atmosfera para fins de manejo da água de irrigação.

A seguir, são apresentados os principais indicadores com base na planta, no solo e na atmosfera, que conjugam, em parte ou no todo, praticidade de operação, e custo competitivo de aquisição e de implantação, além da vantagem de poderem ser aplicados a um amplo elenco de culturas.

Indicadores de manejo de irrigação com base na planta

O organismo vegetal (planta) integra os efeitos das condições ambientais e faz a interface entre o solo (reservatório de água) e a atmosfera (“sumidouro”).

Um procedimento lógico, portanto, para programar as irrigações seria avaliar o estado hídrico da planta.

Para avaliação da deficiência de água nas plantas, Haise e Hagan (1967) consideraram a folha como o principal órgão da planta a ser avaliado, destacando-se os seguintes indicadores: mudança da

coloração, ângulo de posição das folhas, índice de crescimento, teor absoluto de água, potencial hídrico, temperatura, taxa de transpiração e abertura estomatal. Jones (2004) relatou que, de modo geral, os processos de avaliação desses indicadores, com exceção da aparência visual, são muito mais caros, trabalhosos e complexos para uso comercial quando comparados àqueles com base no solo.

Um dos procedimentos com base na planta, com melhor precisão, é o índice de estresse hídrico da cultura, do termo técnico em inglês *Crop Water Stress Index* (CWSI), que leva em consideração a diferença entre as temperaturas da folha e do ar e o deficit de pressão de vapor do ar.

Até o presente momento, a alternativa de programação da irrigação a partir de indicadores com base na planta não tem tido muita aceitação. Além de não permitirem, isoladamente, determinar a quantidade de água necessária a cada irrigação, os métodos de manejo que utilizam tais indicadores requerem calibrações sofisticadas, são bastante sensíveis a variações ambientais, pouco sensíveis a variações do teor de água no solo e ainda demandam maior desenvolvimento tecnológico. Portanto, são ainda pouco confiáveis para indicação rotineira sobre o momento de irrigar (JONES, 2004; WRIGHT; STARK, 1990).

Aparência visual da planta

Em algumas áreas irrigadas, os produtores têm definido o momento de irrigar apenas com base na aparência visual da planta, principalmente coloração e ângulo de posição das folhas. Todavia, em muitos casos, quando for possível observar os sintomas de deficiência de água na planta, seja pela mudança de coloração, seja pelo ângulo de curvatura da folha, as atividades fisiológicas da planta e a produtividade já terão sido comprometidas (JONES, 2004). Marouelli e Guimarães (2006) relataram, por exemplo, que pode ocorrer queda de produtividade acima de 20% se a decisão de irrigar a cultura da batata for tomada somente quando aparecerem os sintomas visuais de murchamento e de folhas com coloração verde mais escuro.

Ao contrário de outras espécies, plantas de cebola e alho geralmente não murcham quando submetidas a condições de deficiência hídrica. Assim, sintomas imediatos de deficiência hídrica moderada para essas espécies são difíceis de ser visualizados em condições de campo (BOSCH SERRA; CURRAH, 2002).

Como a resposta das plantas ao deficit hídrico depende da espécie e da variedade cultivada, experiência e cuidados são importantes na aplicação desse indicador. Algumas culturas, mesmo quando bem hidratadas ou em solos com umidade próxima à capacidade de campo, podem apresentar sinais visuais de estresse em torno do meio-dia e início da tarde, em dias quentes e secos.

A aparência visual, como estratégia de manejo, pode ser melhorada quando da observação conjunta das condições hídricas da planta e do solo. A avaliação da umidade do solo deve ser feita na posição e profundidade corretas em relação à planta e ao seu sistema radicular efetivo.

Potencial de água na folha

Para uso do potencial de água na folha, é necessário dispor de um equipamento para avaliação do estado hídrico da planta, conhecido como câmara de pressão tipo Scholander (SCHOLANDER et al., 1965). É um equipamento de custo relativamente alto e que exige pessoal qualificado para sua utilização. A metodologia de determinação do potencial consiste em colocar uma parte da planta, geralmente a folha, no interior da câmara e medir a pressão requerida para forçar a saída da seiva existente nos tecidos da folha através do pecíolo. O potencial hídrico da folha (ψ_f) deve ser lido assim que a seiva surgir no pecíolo. O potencial deve então ser comparado a um valor de potencial crítico (ψ_{fc}) para a cultura de interesse. Deve-se irrigar sempre que o valor absoluto de ψ_f for maior ou igual a ψ_{fc}. Na Tabela 1, são apresentados valores médios de ψ_{fc} que acarretam reduções significativas da taxa de transpiração e da produtividade de algumas fruteiras e hortaliças.

Tabela 1. Potencial crítico de água na folha (*yfc*), o qual acarreta reduções da evapotranspiração e produtividade para algumas fruteiras e hortaliças.

Cultura	ψ_{fc} (MPa)	Fonte
Abacate	-0,90 a -1,20	Chartzoulakis et al. (2002)
Banana	-0,35 a -1,00	Turner (1994)
Batata	-0,40 a -0,80	Phene et al. (1992) e Wright e Stark (1990)
Citros	-1,20 a -2,30	Syvertsen e Lloyd (1994)
Manga	-1,20 a -1,80	Coelho et al. (2000)
Maracujá	-2,50	Menzel e Simpson (1994)
Pimentão	-0,60 a -0,75	Thompson et al. (2007)
Tomate	-0,40 a -0,60	Thompson et al. (2007)

Uva	-1,00 a -1,60	Williams e Matthews (1990)

Tem sido comumente apresentado na literatura técnica que o potencial de água na folha é, teoricamente, o indicador mais apropriado para avaliar vários processos fisiológicos, inclusive para indicar quando irrigar. Entretanto, Jones (2004) relatou que o potencial de água na folha é pouco preciso em razão de estar sujeito a rápidas flutuações temporais, em virtude de variações ambientais, como uma simples passagem de nuvens, e da regulação homeostática entre diferentes regimes hídricos no solo.

Visando minimizar os problemas levantados por Jones (2004), recomenda-se que as determinações de ψ_f sejam feitas pouco antes do amanhecer, pois a hidratação dos tecidos da planta ainda estará sendo controlada pelo teor de água no solo. Durante o período diurno, a hidratação dos tecidos é controlada pelas condições meteorológicas. O deficit hídrico na planta pode ser várias vezes maior durante o período de calor do dia do que antes do amanhecer. Além disso, as leituras não serão consistentes de um dia para outro por razão de variações de nebulosidade, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e inclinação do sol.

Outro problema do indicador potencial de água na folha é que o equipamento usado para realizar as medições é inadequado a plantas com pecíolos muito frágeis, que se rompem facilmente antes que qualquer leitura seja feita, como é o caso das cucurbitáceas (melancia, melão, abóbora, pepino, etc.).

Temperatura da folha e índice de estresse hídrico da cultura

A estimativa do estado hídrico da planta com base na temperatura pode ser feita por meio de medidas de temperatura do ar e da folhagem, usando-se um termômetro portátil de infravermelho. A técnica tem como base o fato de que as folhas de uma planta que se encontra em estado túrgido refletem mais luz infravermelha do que as de uma planta com folhas murchas (HAISE; HAGAN, 1967) e a temperatura da planta aumenta em relação ao ambiente em resposta ao fato de o sistema radicular não ser capaz de suprir a demanda de transpiração.

Quando a disponibilidade de água no solo não é limitante, a temperatura da folhagem (T_f) responde à radiação líquida, ao deficit de pressão de vapor e à velocidade do vento. Em geral e para um amplo espectro de culturas, a T_f varia de 12 °C abaixo da temperatura do ar (T_a) a 6 °C acima (HATFIELD; SNYDER, 1989).

Como regra, para condições sem restrições de água no solo, o valor de T_f se aproxima do valor de T_a, enquanto, para condições de deficiência hídrica, T_f torna-se muito maior do que T_a em decorrência de uma redução significativa da taxa de transpiração. Todavia, as simples medições de T_f e T_a não permitem determinar, com um mínimo de precisão, o momento de irrigar, pois o processo de determinação do estado hídrico da planta envolve outras variáveis.

A variação entre T_f e T_a, quando associada ao deficit de pressão de vapor do ar, pode ser utilizada para determinar quando irrigar por meio do índice de estresse hídrico da cultura ($IEHC$), como definido

empiricamente por Idso et al. (1981) e teoricamente por Jackson et al. (1981). Em condições de suprimento adequado de água, a diferença T_f - T_a depende do deficit de saturação de vapor de água do ar (DPV). Havendo deficiência de água no solo, T_f - T_a independe de DPV, como mostrado na Figura 1 para o caso do milho-doce (SILVA, 2004). Com base nas linhas-base ajustadas para as condições com e sem deficit hídrico, o $IEHC$ para um valor específico de DPV é calculado utilizando-se a equação 1, descrita a seguir:

$$IEHC = \frac{\left(T_f - T_a\right)_B - \left(T_f - T_a\right)_C}{\left(T_f - T_a\right)_A - \left(T_f - T_a\right)_C} \quad (1)$$

em que T_f é a temperatura da folhagem da planta (°C), T_a a temperatura do ambiente (°C), $(T_f - T_a)_B$ a diferença entre T_f e T_a para uma condição atual e valor específico de DPV, $(T_f - T_a)_C$ a diferença entre T_f e T_a para uma condição sem deficit hídrico e valor específico de DPV e $(T_f - T_a)_A$ a diferença entre T_f e T_a para uma condição com deficit hídrico e valor específico de DPV.

O valor de $IEHC$ varia entre 0 e 1. Valores iguais ou próximos a 0 indicam plantas adequadamente hidratadas e valores próximos a 1 indicam plantas em condições de deficit hídrico severo. A decisão sobre o momento de irrigar é feita comparando-se o valor atual de $IEHC$ ($IEHC_a$) com o valor crítico para a cultura ($IEHC_c$). Assim, se $IEHC_a$ for menor que $IEHC_c$, não se faz necessário irrigar; caso contrário, a irrigação deve ser realizada sob pena de comprometer a produtividade da cultura.

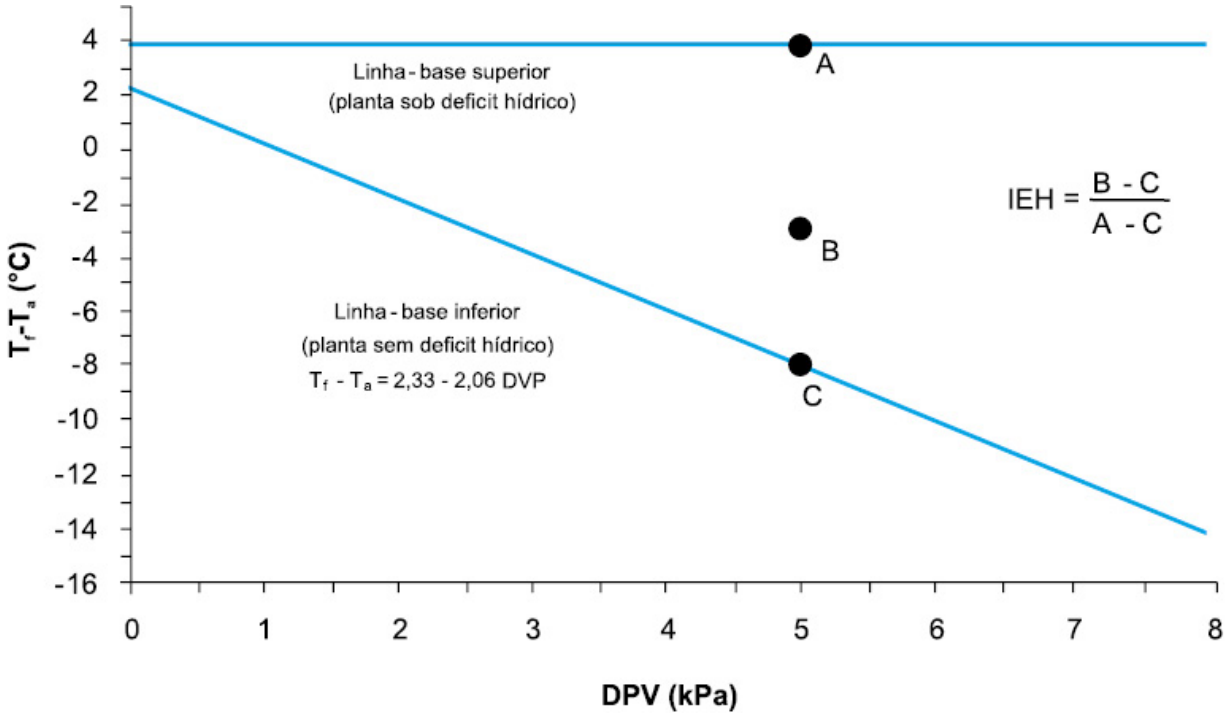


Figura 1. Linhas-base para milho-doce com e sem deficit hídrico conforme a diferença entre a temperatura da folhagem (T_f) e do ar (T_a) e em razão do deficit de pressão de vapor de água do ar (DPV), para determinação do índice de estresse hídrico da cultura ($IEHC$). Para o exemplo dos pontos A, B e C, o $IEHC$ será de 0,42.

Fonte: adaptado de Silva (2004).

Embora o $IEHC$ tenha-se mostrado vantajoso nas condições áridas do Arizona, onde foi desenvolvido, Jones (2004) relatou que, em regiões de clima mais úmido e nublado, a metodologia tem-se mostrado menos precisa. Apesar de algumas deficiências, o uso de termômetros de infravermelho, como uma ferramenta para manejo da água de irrigação, tem aumentado principalmente em regiões áridas. Existe no mercado aparelho capaz de fornecer em tempo real, além da temperatura da folhagem e do ar e da umidade relativa do ar, o valor do $IEHC$ no instante da medição e compará-lo com um valor crítico para definição do momento de irrigar.

Indicadores de manejo de irrigação com base no solo

Informações sobre o teor de água do solo existente na zona radicular das plantas, bem como sobre a energia com que a água está retida no solo, têm sido uma das estratégias mais utilizadas para definição do momento de irrigar. Ao contrário de dados com base na planta, os indicadores com base no solo possibilitam determinar, além do momento da irrigação, a quantidade de água a ser aplicada por irrigação. Esses indicadores podem ser expressos por meio do teor de água no solo, tensão de água no solo e/ou uma junção dos dois, utilizando-se a curva de retenção de água no solo.

Segundo Jones (2004), os principais problemas desses indicadores são: a) variabilidade espacial do solo, o que exige a amostragem ou instalação de sensores em vários locais da área; b) dificuldade de selecionar a distância da planta e a profundidade de instalação que efetivamente represente a zona radicular; c) a maioria dos sensores não mede teor de água diretamente, necessitando de calibração.

Teor de água no solo

O nível de umedecimento do solo é representado pelo volume (ou massa) de água contido em um volume (ou massa) de solo, conhecido como conteúdo ou teor de água no solo. Constitui informação fundamental para a determinação da quantidade de

água necessária a restabelecer o nível adequado de umidade do solo na zona radicular da cultura, sem que ocorram perdas significativas de água por percolação profunda. Além de permitir calcular a quantidade de água por evento de irrigação, a informação sobre o teor de água no solo também pode ser utilizada para indicar o momento de irrigar (SHOCK et al., 2007).

A determinação da umidade do solo pode ser feita por vários métodos e equipamentos. Pode ser estimada por métodos bem práticos e simples, como o do tato-aparência, ou medida por meio de modernos instrumentos e sensores eletrônicos. Uma ampla discussão sobre esses métodos encontra-se disponível na literatura (CAMPBELL; MULLA, 1990; EVETT, 2007; PHENE et al., 1992).

Entre os indicadores de mais baixo custo para fins de manejo de água em áreas de produção, estão os métodos do tato-aparência, gravimétrico direto (padrão de estufa) e das pesagens (BERNARDO et al., 2005; MAROUELLI; GUIMARÃES, 2006). O método gravimétrico direto é referência para comparação e calibração de todos os outros métodos indiretos de determinação da umidade do solo. Sua desvantagem para fins de manejo de água é fornecer o resultado da umidade do solo somente 24 horas após a sua amostragem.

Uma grande variedade de sensores dielétricos, usando tecnologias de reflectometria no domínio do tempo (TDR) e de capacitância – também referenciados como reflectometria no domínio da frequência (FDR) –, está disponível para estimativa do teor de água no solo. Os sensores do tipo TDR são os mais precisos, porém de maior custo, o que tem inviabilizado seu uso para manejo em áreas de produção comercial. A umidade do solo é estimada a partir da

medição direta da constante dielétrica do solo, que varia com a quantidade de água no solo. No caso dos sensores do tipo capacitivo ou *FDR*, a precisão e o custo de aquisição são inferiores ao *TDR*, mas mesmo assim fora do alcance dos agricultores, especialmente no Brasil. Os sensores capacitivos usam diferentes tipos de osciladores eletrônicos, que produzem uma frequência de onda ressonante capaz de detectar variações nas propriedades dielétricas e, por conseguinte, no conteúdo de água no solo (ANDRADE et al., 2008; EVETT, 2007).

Outra técnica que pode ser utilizada para a determinação do teor de água no solo é a da moderação de nêutrons. Trata-se de uma técnica com boa precisão, mas tem alto custo. E por se tratar de um equipamento radioativo, com risco para o ambiente e para a saúde do operador, é indicado apenas para fins de pesquisa.

A escolha do método mais adequado para a determinação do teor de água no solo deve levar em conta critérios como cultura a ser irrigada, praticidade de uso, operacionalidade, exigência em pessoal qualificado, princípio de funcionamento, tamanho da área irrigada, diversidade de culturas a serem irrigadas, custo de aquisição e manutenção, e precisão e confiabilidade das leituras. Vários estudos relatam o uso, a precisão e a versatilidade dos diferentes indicadores de teor de água no solo, quando do manejo e da programação da irrigação (DOMINGO et al., 1996; FARES; ALVA, 2000; SINGANDHUPE et al., 2003; YANG et al., 2003).

Para fins de pesquisa e para grandes áreas de produção de espécies de alto valor econômico, o sistema *TDR* deveria ser o preferido. No caso dos sensores do tipo capacitivo e *FDR*, deve-se ter maior cuidado na calibração dos equipamentos e na escolha

daqueles modelos que possibilitem maior precisão. Todavia, todos os métodos indiretos de determinação da umidade do solo, incluindo aqueles tecnologicamente mais sofisticados e de mais alto custo, requerem algum tipo de calibração.

Em muitas áreas irrigadas, a aplicação de água não segue um indicador apropriado e é efetuada apenas repetindo-se as aplicações feitas anteriormente, consistindo no que os irrigantes têm informado como sendo “irrigação com base na experiência”. Esse método tem baixo nível relativo de precisão. Em alguns poucos casos, a avaliação da disponibilidade de água no solo tem sido realizada pelos agricultores pela aparência visual do solo. A precisão desse procedimento também é baixa, principalmente para agricultores sem a devida destreza e se a amostragem for feita em local não representativo. A avaliação visual da umidade apenas na camada superficial do solo não fornece informação confiável sobre a real disponibilidade de água na zona radicular da cultura. Uma precisão minimamente aceitável pode ser alcançada quando a amostragem de solo é realizada com auxílio de um trado entre 30% e 50% da profundidade das raízes, próximo à planta, e em pelo menos três pontos representativos da área (MAROUELLI; GUIMARÃES, 2006), utilizando-se as informações da Tabela 2. O uso do guia prático apresentado nessa tabela permite ao produtor estimar a fração de água disponível no solo por meio de observações da consistência (tato) e da aparência do solo (método do tato-aparência).

Tabela 2. Guia prático para estimativa da água disponível no solo (*AD*) conforme a textura, a consistência e a aparência do solo.

AD (%)	Textura do solo			
	Grossa	Moderadamente	Média	Fina

		grossa		
0–25	Seco, solto, escapa entre os dedos	Seco, solto, escapa entre os dedos	Seco, por vezes formando torrão que raramente se conserva	Duro, esturricado, às vezes com grânulos soltos na superfície
25–50	Seco, não forma torrão	Sinais de umidade, mas não forma torrão	Forma torrão, algo plástico, mas com grânulos	Maleável, formando torrão
50–75	Seco, não forma torrão	Tende a formar torrão que raramente se conserva	Forma torrão, algo plástico, que às vezes desliza entre os dedos ao ser comprimido	Forma torrão que desliza entre os dedos na forma de lâmina ao ser comprimido
75–100	Tende a se manter coeso; às vezes, forma torrão que se rompe facilmente	Forma torrão que se rompe facilmente e não desliza entre os dedos	Forma torrão muito maleável que desliza facilmente entre os dedos	Ao ser comprimido, desliza entre os dedos na forma de lâmina escorregadiça
100 (CC)[(1)]	Ao ser comprimido, não perde água, mas umedece a mão	Ao ser comprimido, não perde água, mas umedece a mão	Ao ser comprimido, não perde água, mas umedece a mão	Ao ser comprimido, não perde água, mas umedece a mão

[(1)] CC = capacidade de campo.

Obs.: o torrão se forma comprimindo-se, na palma da mão, um punhado de solo. O solo desliza entre os dedos polegar e indicador ao ser comprimido, ao tentar fechar os dedos. A amostra de solo a ser avaliada deve ser retirada entre ¼ e ½ da camada de solo representativa da profundidade efetiva das raízes da cultura.

Fonte: adaptado de Irrigation... (1959).

Tensão de água no solo

A tensão de água na matriz do solo (valor positivo do potencial matricial) é um importante indicador de disponibilidade de água para as plantas, pois caracteriza o estado da energia da água que interage com a matriz do solo, representando uma medida da quantidade de energia requerida pelas plantas para extrair água do solo (SMAJSTRLA; PITTS, 1997). Quanto mais fortemente a água estiver retida no solo, maior será a quantidade de energia que a planta terá que despender para absorver a água necessária a atender às suas necessidades metabólicas, com destaque para a

transpiração. Desse modo, medidas de tensão podem ser utilizadas para avaliar indiretamente a deficiência hídrica das plantas, pois a taxa de transpiração é controlada, dentro de certos limites, pelo próprio solo (HEERMANN et al., 1990; SILVA et al., 1999). Assim, segundo Allen et al. (1998) e Evett (2007), a taxa de extração de água do solo pelas raízes da planta é influenciada mais diretamente pela tensão de água no solo e sua condutividade hidráulica associada do que pelo teor de água.

Medidas de tensão tomadas no perfil do solo permitem ainda estimar a quantidade de água a ser aplicada por irrigação, seja de forma empírica (por tentativa, com auxílio dos sensores), seja a partir da curva de retenção de água no solo (curva característica). Nem toda a água presente no solo está disponível para as plantas de maneira similar. À medida que o solo vai secando, mais difícil se torna à planta extrair água por meio de suas raízes. Por outro lado, excesso de água no solo não é garantia de bom desenvolvimento das plantas. Embora, nesse caso, a água esteja livremente disponível (tensão próxima a 0), pode saturar grande parte dos espaços porosos do solo, comprometendo a aeração e afetando negativamente o bom funcionamento das raízes. Como regra, as informações apresentadas na Tabela 3 podem ser usadas para interpretar a condição da disponibilidade de água no solo, conforme as principais faixas de tensão.

Tabela 3. Condição e interpretação da disponibilidade de água no solo conforme a faixa de tensão de água no solo.

Tensão (kPa)	Condição e interpretação
0 a 6	Solo próximo à saturação. Tensões nessa faixa por períodos contínuos indicam irrigações em excesso, perda de água por drenagem profunda, lixiviação de nutrientes e deficiência de aeração para as raízes
6 a 10	Solo com umidade próxima à capacidade de campo. Irrigações devem ser interrompidas nessa faixa a fim de prevenir os problemas associados à condição de solo próximo à saturação. A capacidade de

	campo em solos arenosos está associada a menores valores de tensão
10 a 20	Solo com excelente condição de umidade e boa aeração. Faixa de tensão indicada para a irrigação de culturas altamente sensíveis ao deficit de água, de solos de textura grossa e/ou via gotejamento
20 a 40	Solo com boa condição de umidade e excelente aeração. Faixa de tensão indicada para a irrigação de culturas sensíveis ao deficit de água
40 a 70	Solo com disponibilidade limitada de umidade e excelente aeração. Faixa de tensão indicada para a irrigação de culturas com tolerância moderada ao deficit de água
> 70	Solo com disponibilidade restrita de água e excelente aeração. Condição indicada apenas para culturas tolerantes ao deficit de água ou durante estádios específicos de desenvolvimento de algumas espécies. Tensão máxima operacional para tensiômetros em virtude da entrada de ar através da cápsula e formação acentuada de bolhas de vapor de água dentro do sistema

Fonte: adaptado de Marouelli (2008) e Stegman et al. (1983).

Valores de tensão crítica de água no solo para reinício das irrigações são apresentados na Tabela 4 para hortaliças irrigadas por aspersão, na Tabela 5 para hortaliças irrigadas por sulco e gotejamento e na Tabela 6 para fruteiras. Conforme indicado nas tabelas, verifica-se que a tensão crítica é também função do sistema de irrigação, do estádio de desenvolvimento da cultura, da textura do solo e da demanda evaporativa da atmosfera (SHOCK et al., 2007; THOMPSON et al., 2007).

Tabela 4. Faixas de tensão crítica de água no solo em que se deve promover a irrigação para obtenção de produtividade máxima para algumas hortaliças irrigadas por aspersão.

Hortaliça	Tensão crítica[1] (kPa)	Fonte
Abóbora	25–50	Stansell e Smittle (1989)
Alface	20–50	Sammis (1980)
Alho	15–30	Marouelli et al. (2002a, 2002b)
Batata	20–40	Marouelli et al. (1988)
Batata-doce	25–100	Smittle et al. (1990)
Berinjela	30–60	Sanders (1997)
Beterraba	40–60	Doorenbos e Pruitt (1977)
Brócolis	25–50	Maurer (1976) e Sanders (1997)
Cebola	15–45	Carrijo et al. (1990) e Sanders (1997)

Hortaliça	Tensão crítica[1] (kPa)	Fonte
Cenoura	20–30	Silva et al. (1982)
Couve-flor	25–40	Kaniszewski e Rumpel (1998) e Sanders (1997)
Ervilha-seca	100–200	Marouelli et al. (1991a)
Feijão-vagem	25–70	Singh (1989)
Lentilha	200–400	Saraf e Baitha (1985)
Melancia	25–50	Hegde (1987)
Melão	30–60	Sanders (1997)
Milho-doce	45–100	Sanders (1997) e Taylor (1965)
Morango	20–30	Haise e Hagan (1967)
Pepino	40–80	Sanders (1997)
Pimentão	20–50	Batal e Smittle (1981)
Repolho	25–60	Enciso et al. (2007) e Sanders (1997)
Tomate de mesa	30–100	Silva e Simão (1973)
Tomate industrial	30–400	Marouelli e Silva (2005)

[1] Valores à esquerda devem ser utilizados durante os períodos críticos de deficit hídrico, condições de alta demanda evaporativa da atmosfera (ETo > 6 mm dia^{-1}) e/ou solos arenosos.

Tabela 5. Faixas de tensão crítica de água no solo em que se deve promover a irrigação para obtenção de produtividade máxima para algumas hortaliças irrigadas por sulco e gotejamento.

Tensão crítica (kPa)[1]	Hortaliça
	Sistema por sulco
20 a 40	Abóbora, alface, alho, batata, berinjela, brócolis, cebola, cenoura, feijão-vagem, folhosas em geral, melancia, melão, morango e pimentão
40 a 70	Batata-doce, beterraba, couve-flor, milho-doce, pepino, repolho e tomate
70 a 200	Ervilha, grão-de-bico e lentilha
	Sistema por gotejamento
10 a 20	Abóbora, alface, alho, batata, berinjela, brócolis, cebola, cenoura, feijão-vagem, folhosas em geral, melancia, melão, morango e pimentão
20 a 40	Batata-doce, beterraba, couve-flor, milho-doce, pepino, repolho e tomate

[1] Valores à esquerda devem ser utilizados durante os períodos críticos de deficit hídrico, condições de alta demanda evaporativa da atmosfera (ETo > 6 mm dia^{-1}) e/ou solos arenosos.
Fonte: adaptado de Marouelli (2008).

Tabela 6. Faixas de tensão crítica de água no solo em que se deve promover a irrigação para obtenção de produtividade máxima para algumas fruteiras.

Fruteira	Tensão crítica[(1)] (kPa)	Fonte
Abacate	35–55	Coelho et al. (2000)
Abacaxi	25–60	Oliveira et al. (2006)
Acerola	25–55	Oliveira et al. (2006)
Banana	25–45	Coelho et al. (2000)
Citros	30–45	Coelho et al. (2000)
Goiaba	10–45	Coelho et al. (2000)
Mamão	15–45	Oliveira et al. (2006)
Manga	15–60	Coelho et al. (2000)
Maracujá	10–20	Coelho et al. (2000)
Uva de mesa	15–25	Gurovich (1996)
Uva vinífera	15–50	Neja et al. (1977)

[(1)] Valores à esquerda devem ser utilizados durante os períodos críticos de deficit hídrico, condições de alta demanda evaporativa da atmosfera (ETo > 6 mm dia^{-1}) e/ou solos arenosos.

Vários equipamentos têm surgido para a medição da tensão de água no solo e utilizados para fins de manejo de água por agricultores em diferentes países, com destaque para o tensiômetro e os blocos de resistência elétrica (EVETT, 2007; HEERMANN et al., 1990; SANDERS, 1997). No Brasil, vários produtores de hortaliças, flores e mudas de fruteiras e espécies florestais têm utilizado o sistema Irrigas® (CALBO; SILVA, 2006).

Tensiômetros

Embora seja o mais antigo método para medir a tensão de água no solo, datando do início do século 20, o tensiômetro é ainda, provavelmente, o sensor mais utilizado para medição do estado da água no solo (EVETT, 2007). Segundo Silva et al. (1999), suas principais vantagens comparativas em relação a outros indicadores com base no solo são: medição direta e em tempo real da tensão de água no solo, sendo a umidade determinada indiretamente; qualidade no manejo de água desde que convenientemente instalado, mantido e interpretado; custo relativamente baixo; e facilidade de ser encontrado no mercado.

Informações teóricas e práticas sobre tensiômetros e seu uso podem ser encontradas em Faria e Costa (1987), Libardi (1993) e Marouelli (2008). Os modelos de tensiômetros mais utilizados são os de vacuômetro metálico tipo Bourdon (Figura 2) e os de punção. As unidades de medida dos vacuômetros são geralmente expressas em kPa, cbar, mmHg e cmH_2O, em que: 1 kPa = 1 cbar = 7,5 mmHg = 10,2 cmH_2O. Os tensiômetros com vacuômetro de mercúrio, apesar de apresentarem excelente precisão, são de mais difícil instalação e operação. Por usarem mercúrio metálico, são menos seguros do ponto de vista ambiental e não devem ser utilizados.

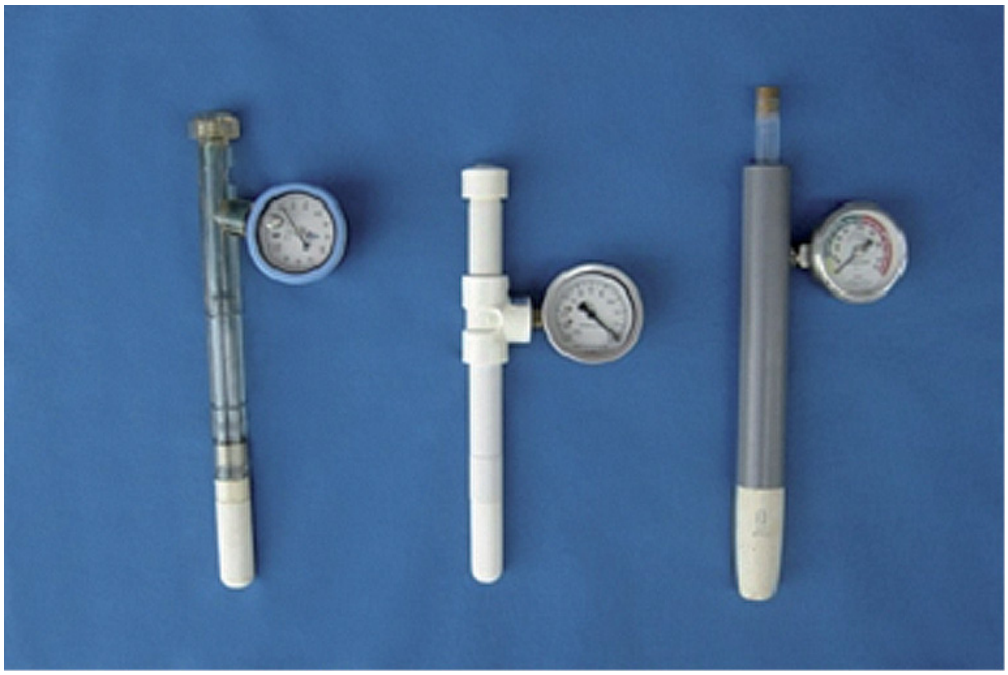


Figura 2. Tensiômetros com vacuômetro metálico tipo Bourdon.

Foto: Waldir Aparecido Marouelli

Os tensiômetros de punção não dispõem de vacuômetro acoplado. A leitura é realizada por meio de um vacuômetro portátil (digital ou analógico), conhecido como tensímetro (Figura 3). Em razão do custo relativamente alto do tensímetro digital, o tensiômetro de punção somente começa a ser economicamente viável quando o produtor necessita utilizar pelo menos dez unidades (MAROUELLI, 2008). O tensímetro analógico apresenta custo bem mais baixo do que o digital, porém a precisão é inferior.



Figura 3. Tensiômetros de punção para leitura com tensímetro analógico ou digital.

Foto: Waldir Aparecido Marouelli

O tensiômetro permite leitura de tensão até cerca de 80 kPa. Para tensões maiores, começa a haver formação acentuada de bolhas de vapor dentro da água sob vácuo, causando o processo de cavitação no sistema, o que faz o instrumento parar de funcionar. Mesmo cobrindo apenas de 40% a 70% da água disponível no solo, os tensiômetros são recomendados para o manejo de água da maioria das culturas. Para que apresentem desempenho satisfatório, é indispensável observar uma série de cuidados e procedimentos no preparo, instalação, operação, manutenção e armazenamento, conforme apresentado por Marouelli (2008).

A leitura realizada em tensiômetros com vacuômetro metálico ou com tensímetros corresponde à soma da tensão matricial com a tensão gravitacional. Assim, para se obter a tensão matricial de

água no solo, deve-se subtrair da leitura realizada o valor correspondente à tensão gravitacional, expressa pela equação 2:

$$T_m = L - T_g = L - 0{,}098\, H_{água} \quad (2)$$

em que T_m é a tensão de água na matriz do solo (kPa), L a leitura no vacuômetro ou tensímetro (kPa), T_g a tensão gravitacional de água no solo (kPa) e $H_{água}$ a altura da coluna de água no tensiômetro, considerando-se o centro da cápsula (cm).

Blocos de resistência elétrica

Sensores do tipo bloco de resistência elétrica permitem relacionar a tensão de água no solo com a resistência elétrica entre dois eletrodos inseridos no sensor (bloco). O sensor permanece instalado no solo durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura e as leituras são geralmente realizadas com um medidor digital portátil, pré-calibrado pelo fabricante.

Existem dois tipos básicos de sensores de resistência elétrica: os blocos de gesso e os do tipo matricial granular. O primeiro tipo é construído de uma liga à base de gesso, enquanto o segundo, por camadas de materiais granulares, gesso, tecido e/ou tela metálica (EVETT, 2007; PEREIRA et al., 2006).

Por ser construído com material poroso, o bloco permite que a água entre ou saia do sensor, à medida que o solo umedece ou seca, sendo controlada pela tensão de água no solo. Assim, quanto menor a tensão de água no solo, mais úmido estará o sensor e mais

facilmente a corrente elétrica fluirá entre os eletrodos dentro do sensor.

As principais desvantagens dos blocos de resistência elétrica são: requerem calibração para cada tipo de solo; pode existir grande variabilidade entre sensores; podem ser afetados pela temperatura e concentração de sais na solução do solo; apresentam problema de histerese (variação de leitura durante os processos de umedecimento e secamento). Outro aspecto importante é que os blocos de gesso geralmente atuam na faixa de tensão entre 150 kPa e 600 kPa, e do tipo matricial granular, na faixa de 10 kPa a 200 kPa (EVETT, 2007).

Sistema Irrigas® e tensiômetro a gás

Um novo sistema para avaliar a tensão de água no solo foi desenvolvido e patenteado pela Embrapa com a marca registrada Irrigas® (CALBO, 2002). O sensor é durável, apresenta custo relativamente baixo, é de fácil instalação e leitura, e, praticamente, não requer manutenção. Uma ampla descrição sobre o princípio de funcionamento do sistema é apresentado em Calbo e Silva (2006). Embora teoricamente possam ser construídos com qualquer tensão, comercialmente existem sensores com tensão de referência de 15 kPa, 25 kPa e 40 kPa (Figura 4). A leitura é realizada com o auxílio de um pequeno recipiente com água (Figura 5), indicando se a tensão de água no solo encontra-se abaixo ou acima da tensão de referência do sensor. Recomendações e estratégias de uso para fins

de manejo de água em hortaliças são apresentadas por Marouelli e Calbo (2009).

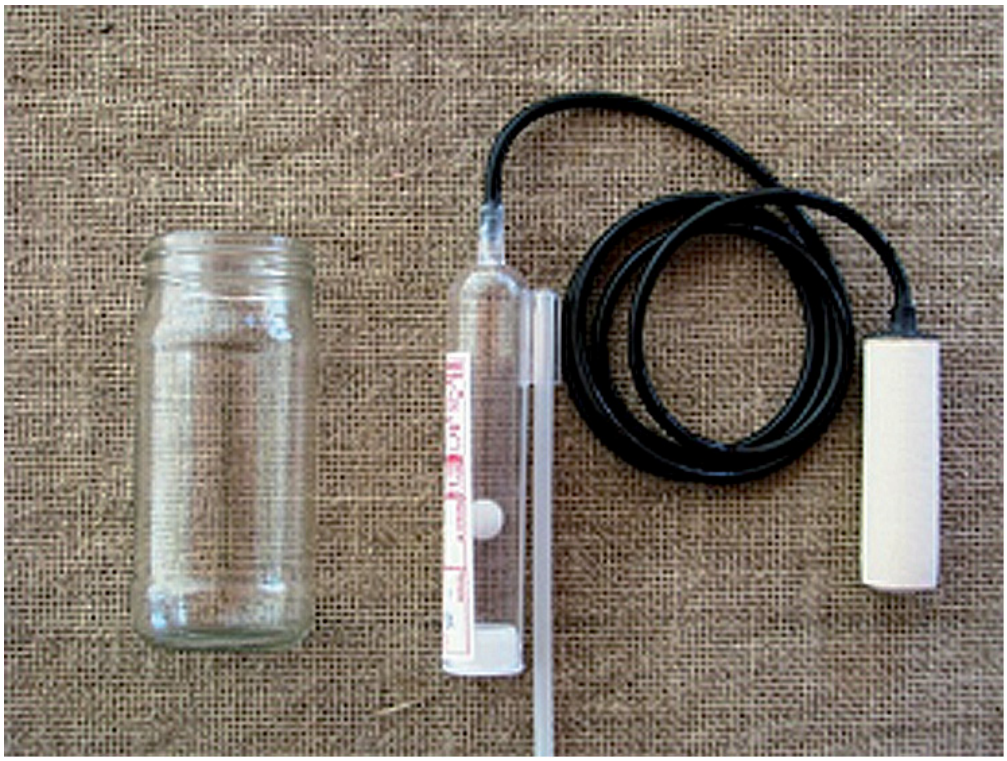


Figura 4. Sistema Irrigas® comercial, na sua forma básica, incluindo cápsula porosa (sensor), tubo de plástico flexível, cuba de leitura e frasco para teste de imersão.

Foto: Waldir Aparecido Marouelli



Figura 5. Leitura de sensores Irrigas® instalados em lavoura de pimenta por meio da introdução da cuba de leitura em um frasco com água.

Foto: Waldir Aparecido Marouelli

Outro sistema para medir a tensão de água no solo, também desenvolvido e patenteado pela Embrapa (CALBO, 2004), é o tensiômetro a gás. Fundamentado no princípio do Irrigas®, permite medição de tensões de água no solo entre 0 e a tensão crítica de sorção (pressão de borbulhamento) da cápsula porosa utilizada. Para a construção do equipamento, necessita-se basicamente de uma cápsula porosa, uma fonte de ar comprimido e um manômetro com bifurcação, com tensão crítica e capacidade de fornecer ou medir pressão ligeiramente superior à tensão máxima de água a ser determinada no solo (CALBO; SILVA, 2006; CALBO et al., 2008). Diferentemente do tensiômetro comum, o tensiômetro a gás não requer adição de água nem saturação da cápsula porosa ou correção da pressão hidrostática, pois sua cavidade trabalha cheia de ar (CALBO; SILVA, 2006). Estando a cápsula instalada e em

equilíbrio hídrico com o solo ou substrato, a tensão é calculada utilizando-se a equação 3:

$$T_m = T_{cs} - P_a \quad (3)$$

em que T_m é a tensão de água na matriz do solo (kPa), T_{cs} a tensão crítica de sorção da cápsula porosa (kPa) e P_a a pressão gasosa aplicada (kPa).

A pressão gasosa aplicada, medida pelo manômetro, é a necessária para forçar a passagem de ar através dos poros da cápsula impregnados com água, sendo tanto maior quanto mais úmido estiver o solo.

O sistema de tensiometria a gás é linear, simples e efetivo, o que tem possibilitado manejo automatizado da água de irrigação, com o auxílio de pressostatos ajustáveis, temporizadores e válvulas solenoides (CALBO; SILVA, 2006; HIDROSENSE, 2010). O uso do sistema tem sido mais frequente no cultivo protegido de hortaliças e plantas ornamentais, inclusive em substrato, onde o uso de novas tecnologias e soluções, incluindo a automação, é constantemente buscado pelos produtores.

Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção representa a relação entre a umidade do solo e a tensão da água no solo, expressando a quantidade de energia com que um dado teor de água encontra-se retido no solo. É também conhecida como curva característica da água no solo,

sendo específica para cada solo. Representa uma das propriedades básicas no estudo dos processos de movimentação e retenção de água no solo, sendo uma importante ferramenta para a elaboração de um bom programa de manejo da água de irrigação. A curva tem formas ligeiramente distintas durante os processos de secamento e umedecimento do solo, fenômeno denominado histerese. Na prática da irrigação, todavia, assume-se a curva de retenção de secamento.

Entre as várias técnicas existentes para sua determinação, o extrator de pressão de Richards tem sido considerado padrão e utilizado como rotina por grande parte dos laboratórios de física de solos, usando amostras com estruturas deformadas ou não deformadas. Apesar de bem mais trabalhoso, o processo que utiliza amostras não deformadas possibilita resultados mais precisos, principalmente na faixa de tensão até 100 kPa (MAROUELLI et al., 1996). Vários métodos para determinação da curva de retenção de água no solo são apresentados por Andrade et al. (2008).

Um dos modelos teóricos mais utilizados para a construção da curva de retenção de água no solo, a partir de dados da relação umidade versus tensão de retenção, é o proposto por Genuchten (1980), descrito pela equação 4:

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\left(\theta_s - \theta_r\right)}{\left[1 + \left(\alpha \times T_m\right)^n\right]^m} \quad (4)$$

em que θ_a é a umidade atual do solo ($cm^3\ cm^{-3}$), θ_r a umidade residual do solo ($cm^3\ cm^{-3}$), θ_s a umidade de saturação do solo ($cm^3\ cm^{-3}$), T_m a tensão de água na matriz do solo (kPa), α a constante

com dimensão igual ao inverso da tensão (kPa^{-1}) e *n* e *m* são constantes adimensionais de ajuste da equação.

Exemplos de curvas de retenção de água no solo, com indicação dos parâmetros da equação de Genuchten, são apresentados na Figura 6. Os procedimentos para ajuste dos parâmetros da equação estão descritos em Andrade et al. (2008).

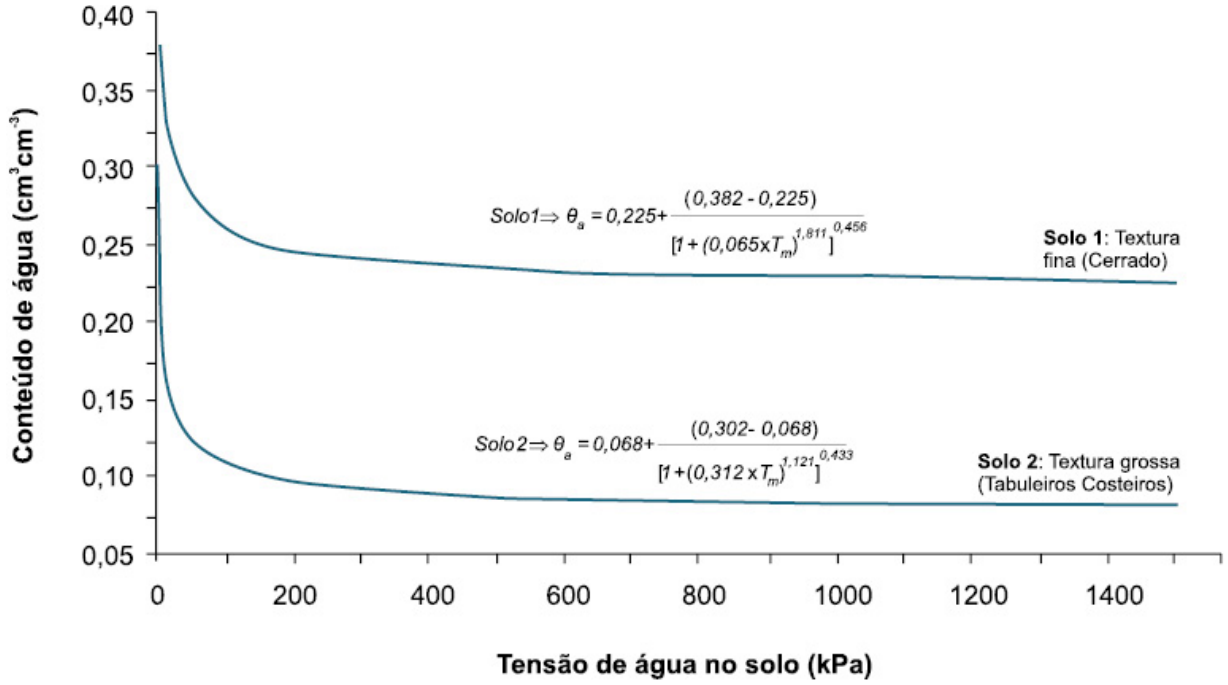


Figura 6. Exemplo de curvas de retenção de água em solo de textura fina, região do Cerrado, DF, e de textura grossa, região dos Tabuleiros Costeiros, BA, com equações ajustadas pelo método de Genuchten.

Uma das aplicações da curva de retenção é a determinação da disponibilidade atual de água no solo. Assim, com base nos dados de tensão de água no solo obtidos em campo e na curva de retenção produzida previamente em laboratório, pode-se determinar a umidade crítica do solo no momento de irrigar e, por conseguinte, a lâmina de água a ser aplicada por irrigação. Para fins práticos de manejo de irrigação, os valores de umidade do solo na capacidade

de campo e no ponto de murcha permanente podem ser obtidos a partir da curva de retenção.

Disponibilidade de água no solo

O tamanho e a natureza das partículas minerais e o teor de matéria orgânica, bem como o arranjo dos elementos estruturais, constituindo a porosidade ou espaços vazios, dão ao solo características próprias de armazenamento de água. Porém, sabe-se que nem toda a água armazenada nos macroporos e microporos do solo está disponível para as plantas. Para quantificação da água disponível, parâmetros como capacidade de campo, ponto de murcha permanente e umidade de irrigação são importantes e precisam ser definidos para cada tipo de solo. Em termos gerais, a textura é o atributo mais intimamente relacionado à capacidade de armazenamento de água; porém, a estrutura e a natureza das partículas do solo podem ser tão ou mais importantes.

A capacidade de campo representa a quantidade de água retida pelo solo em virtude de forças matriciais e capilares, depois que o excesso é drenado livremente pela ação da gravidade, ou seja, representa a condição do solo com 100% de água disponível para as plantas. Embora esse parâmetro possa ser avaliado diretamente no campo, sua determinação tem sido usualmente realizada em laboratório. Valores de umidade do solo na capacidade de campo estão geralmente associados a tensões matriciais da ordem de 5 kPa para solos de textura grossa e de 10 kPa para solos de textura fina (AHUJA; NIELSEN, 1990; REICHARDT, 1988).

O conceito de ponto de murcha permanente representa o limite mínimo de umidade existente no solo, abaixo do qual uma planta em crescimento ativo apresenta perda de turgescência das folhas, sem possibilidade de se recuperar, mesmo quando novamente irrigada e colocada em atmosfera saturada durante a noite. Representa, portanto, a condição do solo com 0% de água disponível para as plantas. Embora o ponto de murcha permanente possa variar com as diferentes espécies de plantas, estádio de desenvolvimento, tipo de solo e condições climáticas, é comumente aceito como o teor de água no solo correspondente à tensão matricial de 1.500 kPa, portanto podendo ser estimado indiretamente em laboratório.

A lâmina de água disponível para as plantas, que pode ser armazenada pelo solo, é aquela contida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Assim, a lâmina total de água disponível, na camada de solo correspondente à profundidade efetivamente explorada pelo sistema radicular da cultura, é calculada pela equação 5:

$$LTD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times Z_r \times f_{Am} \quad (5)$$

em que LTD é a lâmina total de água disponível no solo para as plantas (mm), θ_{CC} a umidade do solo correspondente à capacidade de campo ($cm^3\ cm^{-3}$), θ_{PMP} a umidade do solo correspondente ao ponto de murcha permanente ($cm^3\ cm^{-3}$), Z_r a espessura da camada de solo, correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (mm), e f_{Am} a fração de área molhada (decimal).

Segundo Keller e Bliesner (1990), o uso do conceito de fração de área molhada possibilita estimar a lâmina de água disponível no solo em sistema de irrigação localizada. A fração de área molhada deve expressar o valor médio de molhamento ao longo do perfil de

solo equivalente à profundidade efetiva do sistema radicular. Para irrigação por aspersão, e mesmo para irrigação por sulco, quando o espaçamento entre sulcos permite que as frentes de molhamento se encontrem logo abaixo da superfície do solo, a fração de área molhada é igual a 1 (f_{Am} = 1).

Para hortaliças irrigadas por gotejamento, Talens (1998) recomendou uma fração molhada mínima de 0,50. Todavia, para hortaliças com maior espaçamento entre fileiras de plantas, como melancia e abóbora, tem-se utilizado f_{Am} = 0,30; para hortaliças com menor espaçamento, como alface e cenoura, f_{Am} = 0,95. Para fruteiras irrigadas por gotejamento ou por microaspersão, Talens (1998) recomendou uma fração mínima molhada entre 0,30 e 0,40 para solos argilosos e entre 0,40 e 0,50 para solos arenosos. Para uma mesma configuração de emissores, a fração de área molhada em solos arenosos é normalmente menor que em solos argilosos.

Deve-se notar que a umidade do solo na equação 5 é expressa em volume ($cm^3\ cm^{-3}$). No entanto, é comum a umidade ser expressa em massa seca (gravimétrica). Assim, para possibilitar a determinação da lâmina (ou volume) de água, faz-se necessário multiplicar a umidade do solo pela sua densidade global, que é tecnicamente chamada de densidade do solo. Nesse caso, rearranjando a equação 5, tem-se a equação 6:

$$LTD = (U_{CC} - U_{PMP}) \times D_g \times Z_r \times f_{Am} \quad (6)$$

em que U_{CC} é a umidade gravimétrica do solo correspondente à capacidade de campo ($g\ g^{-1}$), U_{PMP} a umidade gravimétrica do solo correspondente ao ponto de murcha permanente ($g\ g^{-1}$) e D_g a densidade global do solo ($g\ cm^{-3}$).

Partindo-se de uma situação com o solo na condição de capacidade de campo (θ_{CC}), a umidade reduz à medida que o solo vai perdendo água por evapotranspiração. Para nenhuma das fruteiras e hortaliças, no entanto, é recomendável deixar o reservatório do solo se "esvaziar" até atingir a condição de ponto de murcha permanente (θ_{PMP}). Existe para cada cultura um valor de umidade crítica abaixo do qual a produtividade começa a ser prejudicada. A umidade crítica do solo, momento em que se deve irrigar uma determinada cultura sob pena de comprometer sua produção, é obtida experimentalmente; é função da espécie cultivada, do clima, do tipo de solo e até mesmo da cultivar, estando associada à "força" com que a água é retida pela matriz do solo. Conhecida a umidade crítica, torna-se simples determinar a lâmina real de água no solo para as plantas, também conhecida como lâmina de água facilmente disponível para as plantas, utilizando-se a equação 7:

$$LRD = (\theta_{CC} - \theta_{UIc}) \times Z_r \times f_{Am} \quad (7)$$

em que LRD é a lâmina de água real disponível no solo para as plantas (mm) e θ_{UIc} a umidade crítica do solo para fins de irrigação ($cm^3\ cm^{-3}$).

Quando se expressa a LRD em relação à LTD, obtém-se um número adimensional, comumente denominado de fator de reposição de água (f_r), que representa a fração da LTD que pode ser utilizada pela cultura antes que ocorra deficit hídrico que comprometa a produção. Como a determinação de θ_{UIc} é difícil de ser obtida experimentalmente, pois é altamente dependente da capacidade de armazenamento e da retenção de água no solo, além da espécie cultivada, das condições edafoclimáticas e do sistema de irrigação, a LRD é geralmente determinada utilizando-se a equação 8:

$$LRD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times Z_r \times f_{Am} \times f_r \quad (8)$$

em que f_r é o fator de reposição de água ao solo (decimal).

Além de depender da cultura e do estádio de desenvolvimento das plantas, f_r é influenciado pela taxa de evapotranspiração, pelo tipo de solo e pelo sistema de irrigação. Isso porque a taxa de extração de água do solo pelas plantas é afetada diretamente pela tensão de água e pela condutividade hidráulica do solo (ALLEN et al., 1998). Assim, quanto maior a ETc e mais argiloso for o solo, menor deverá ser o valor de f_r. Em razão de questões operacionais e da forma com que a água é aplicada às plantas, f_r também é dependente do sistema de irrigação. Nesse caso, para uma mesma cultura e condições de solo e clima, deve-se considerar valor menor de f_r para sistemas por gotejamento, por ser um sistema de irrigação fixo que não molha a parte aérea, e maior para sistemas por sulco, por apresentarem limitações operacionais que dificultam irrigações frequentes.

Embora sujeito às mesmas variáveis que afetam o θ_{UIc}, o fator f_r é muito mais estável, ou seja, um valor de f_r recomendado para uma determinada cultura pode ser utilizado, dentro de certos limites, para diferentes condições de cultivo, o que não ocorre com a θ_{UIc}. Ademais, existem na literatura recomendações de valores de f_r para diferentes culturas (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; KASSAM, 1986; MAROUELLI et al., 2008c).

Valores de f_r para diferentes culturas são apresentados na Tabela 7. Dentro de cada faixa de f_r, o menor valor deve ser considerado para solos de textura grossa (arenosa), enquanto o maior, para solos de textura fina (argilosa). Esses valores são indicados para $ETc \approx 5$ mm

dia^{-1}. Para condições em que 4 mm dia^{-1} > ETc > 6 mm dia^{-1}, f_r pode ser ajustado segundo Allen et al. (1998), utilizando-se a equação 9:

$$f_{r(cor)} = f_{r(tabela\ 7)} + 0{,}04(5 - ETc) \quad (9)$$

em que $f_{r(cor)}$ é o fator de reposição de água ao solo corrigido (decimal) e $f_{r(tabela7)}$ o fator de reposição de água ao solo fornecido pela Tabela 7 (decimal).

Tabela 7. Fator de reposição de água ao solo (f_r) para hortaliças e fruteiras irrigadas por aspersão e sulco, para ETc^1 ≈ 5 mm dia^{-1}.

Cultura	f_r[2]	Cultura	f_r[2]
		Hortaliça	
Abóbora-seca	0,30–0,40	Feijão-vagem	0,40–0,50
Alface	0,25–0,35	Folhosas em geral	0,25–0,35
Alho	0,25–0,35	Lentilha	0,55–0,70
Batata	0,30–0,40	Melancia	0,35–0,45
Batata-doce	0,55–0,70	Melão	0,40–0,50
Berinjela	0,40–0,50	Milho-doce	0,45–0,55
Beterraba	0,45–0,55	Morango	0,20–0,35
Brócolis	0,35–0,50	Pepino	0,45–0,55
Cebola	0,25–0,35	Pimentão	0,30–0,40
Cenoura	0,30–0,40	Repolho	0,35–0,50
Couve-flor	0,35–0,45	Tomate industrial	0,40–0,50
Ervilha-seca	0,55–0,70	Tomate de mesa	0,40–0,60
		Fruteiras	
Abacate	0,45–0,60	Goiaba	0,30–0,40
Abacaxi	0,45–0,55	Manga	0,40–0,55
Banana	0,25–0,40	Maracujá	0,25–0,35
Caju	0,55–0,65	Uva de mesa	0,30–0,40
Citros	0,45–0,55	Uva vinífera	0,40–0,50

[1] Para 4 mm dia^{-1} < ETc < 6 mm dia^{-1}, o valor de f_r pode ser ajustado por: $f_{r(cor)} = f_{r(tabela)} + 0{,}04\ (5 - ETc)$.

[2] Os menores valores de f_r são para solos de textura grossa, enquanto os maiores são para os de textura fina.

Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Coelho et al. (2000) e Marouelli et al. (2008c).

Profundidade efetiva do sistema radicular

Em irrigação, normalmente não se considera todo o perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cultura, mas apenas a profundidade efetiva, que contém cerca de 80% do sistema radicular. Sua determinação em condições de campo é fundamental para fins de manejo de irrigação. Valores superestimados acarretam a aplicação de lâminas de água e a adoção de turnos de rega maiores que os recomendados, com consequências indesejáveis. Por outro lado, valores subestimados resultam em irrigações mais frequentes e com lâminas menores, podendo resultar em maior uso de mão de obra e menor aprofundamento das raízes, entre outros problemas.

Valores de profundidade efetiva do sistema radicular para várias culturas são apresentados por Allen et al. (1998), Doorenbos e Pruitt (1977) e Marouelli et al. (1996, 2008c). Na Tabela 8, são apresentados valores médios da profundidade efetiva para algumas hortaliças e fruteiras durante o período de máxima cobertura do solo, cultivadas em solos de textura média, férteis e com drenagem livre.

Tabela 8. Valores de profundidade efetiva do sistema radicular (Z_r) durante o estádio de máxima cobertura do solo.

Espécie	Z_r (mm)[1]	Espécie	Z_r (mm)[1]

Hortaliça			
Abóbora	350–600	Feijão-vagem	350–600
Alho	300–500	Folhosas	200–400
Batata	300–500	Lentilha	450–700
Batata-doce	450–700	Melancia	300–700
Brássicas	300–600	Melão	300–600
Beterraba	300–600	Milho-doce	450–700
Cebola	300–500	Morango	200–350
Berinjela	350–600	Pepino	350–600
Cenoura	300–500	Pimentão	350–600
Ervilha	450–700	Tomate	350–700
Fruteira			
Abacate	750–1.500	Goiaba	600–1.200
Abacaxi	300–600	Mamão	350–600
Acerola	500–800	Manga	600–1.200
Banana	500–800	Maracujá	350–700
Citros	600–1.400	Uva	600–1.200

(1) A profundidade de raízes varia grandemente conforme as condições de solos. Valores mais confiáveis devem ser determinados por meio de observações de campo para cada estádio da cultura.
Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Coelho et al. (2000) e Marouelli et al. (1996, 2008c).

Muitos fatores, como textura e fertilidade do solo, práticas culturais, profundidade e grau de compactação dos solos, irrigações muito frequentes e horizontes fortemente diferenciados, podem afetar consideravelmente o desenvolvimento radicular das plantas. É aconselhável avaliar o sistema radicular nos diferentes estádios de desenvolvimento e no próprio local de cultivo.

Existem vários métodos para avaliar a profundidade efetiva de raízes (ATKINSON; MACKIE-DAWSON, 1991). Todos são trabalhosos e nenhum pode ser considerado como padrão e indicado para todas as situações. Na prática, a abertura de uma trincheira perpendicularmente à linha de plantio e a avaliação visual

do sistema radicular, nas diferentes fases de desenvolvimento das plantas, podem dar uma ideia aproximada das profundidades a serem consideradas (MAROUELLI et al., 2008c). Para uma melhor precisão desse método visual, devem-se afixar à parede da trincheira linhas verticais e horizontais a cada 10 cm, por exemplo, formando um perfil reticulado. A concentração de raízes, dentro de cada retícula, pode ser avaliada utilizando-se notas de 0 (ausência de raízes) a 5 (máxima concentração) (Figura 7). A profundidade efetiva é estimada ponderando-se as notas em todas as retículas com raízes. A mesma estrutura reticulada pode ser utilizada para se avaliar com mais precisão a profundidade efetiva das raízes das plantas. Para tanto, é preciso obter imagens digitais de cada retícula e utilizar um programa de computador, como o Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (Siarcs) (CRESTANA et al., 1994), para avaliação da distribuição e concentração de raízes no perfil do solo.



Figura 7. Trincheira aberta perpendicularmente à linha de plantio de tomate para avaliação visual da profundidade efetiva do sistema radicular, durante o estádio de produção, com auxílio de retículas de 10 cm x 10 cm; a profundidade efetiva foi estimada em 45 cm.

Foto: Waldir Aparecido Marouelli

Local e profundidade de amostragem de solo ou de instalação de sensores

A amostragem de solo e/ou a instalação de sensores para avaliação do teor ou tensão da água no solo devem ser feitas na zona de absorção de água pelo sistema radicular da planta, o que demanda conhecimento dos padrões de distribuição espacial das raízes no solo. Também não se deve instalar os sensores em apenas um local da lavoura irrigada, pois existe grande variabilidade espacial da umidade do solo, mesmo em áreas com solo e plantas aparentemente uniformes. Essa variabilidade se deve a diferenças

de textura e fertilidade do solo, variações de topografia do terreno, distribuição irregular de água pelo sistema de irrigação e desenvolvimento irregular das plantas (MAROUELLI; CALBO, 2009). Além disso, deve-se considerar a própria precisão do método de amostragem e o tipo de sensor utilizado, além dos cuidados na instalação de cada sensor.

Em uma unidade de irrigação, caracterizada por uma área contínua com plantas da mesma idade e irrigadas pelo mesmo sistema, a amostragem ou instalação dos sensores deve ser realizada em pelo menos três pontos (estações de controle) e, no mínimo, em duas profundidades (ALBUQUERQUE, 2008; STEGMAN et al., 1983). As estações de controle devem ficar em locais representativos da unidade de irrigação. Segundo Marouelli (2008) e Marouelli e Calbo (2009), não devem ser em locais onde ocorra baixa demanda hídrica, como em lugares sem plantas, sombreados ou com plantas com problemas de crescimento, ou ainda onde possa haver acúmulo de água, como em terraços e depressões do terreno. Deve-se fazer junto a plantas sadias, com crescimento normal. Se a área apresentar mais de um tipo de solo e não puder ser subdividida em unidades de irrigação distintas, as estações de controle devem ser localizadas nas partes onde predominar solo de textura mais grossa. Isso deve minimizar os problemas de falta de água no solo para as plantas, que ocorrem primeiramente em solos mais arenosos, e também os problemas de excesso de água, que ocorrem primeiramente em solos mais argilosos.

Quanto à profundidade de instalação em cada estação de controle, os sensores devem ser posicionados em, pelo menos, duas profundidades, conforme informado anteriormente, sendo um a cerca de 50% da profundidade efetiva do sistema radicular e outro

no limite inferior do sistema radicular (ALBUQUERQUE, 2008; MAROUELLI, 2008). A média das leituras das estações de controle, considerando-se os sensores mais próximos da superfície, deve ser utilizada para indicar quando irrigar. A média das leituras dos sensores mais profundos, considerando-se as estações de controle de uma mesma unidade de irrigação, permite avaliar se a lâmina de água aplicada é excessiva ou insuficiente, ao comparar os teores reais de umidade lidos com os teores de umidade ao nível da capacidade de campo dos solos em questão. É importante observar que as profundidades dos sensores devem ser ajustadas à medida que as raízes se aprofundam.

Para hortaliças em geral, os sensores raso e profundo devem ser instalados lado a lado, ao longo da linha de plantio, entre 10 cm e 20 cm da planta, sendo o menor valor para plantas de menor porte e solos mais arenosos. No caso de irrigação por gotejamento, instalar entre 10 cm e 20 cm de distância do gotejador, sendo o menor valor para solos com faixa molhada na superfície inferior a 15 cm de raio (MAROUELLI, 2008). No caso de irrigação por sulco, os sensores devem ser posicionados a 25% do comprimento final dos sulcos e no terço médio da altura do talude do camalhão formado entre sulcos.

Para fruteiras, os sensores devem ser instalados na direção da fileira de plantas, próximo ao caule, em razão da distância efetiva de atuação das raízes, do espaçamento entre plantas, e do sistema e da frequência de irrigação. A profundidade de instalação depende da profundidade efetiva do sistema radicular. Segundo Coelho Filho et al. (2006) e Silva et al. (2008), a região ideal para a instalação dos sensores de umidade ou de tensão de água do solo para indicar quando irrigar situa-se no ponto do volume do solo em que coincide

a profundidade e distância efetivas do sistema radicular (profundidade e distância em relação à planta, contendo cerca de 80% das raízes) com o ponto da profundidade e distância efetivas em que ocorre extração efetiva de água (cerca de 80% da extração total).

De modo geral, para fruteiras irrigadas por sistemas localizados, os sensores devem ser posicionados a uma distância equidistante entre o emissor e a planta, na metade da profundidade efetiva do sistema radicular. Para fruteiras com maior espaçamento entre plantas, a exemplo de laranja e limão irrigados por microaspersão, a região do sistema radicular entre 40 cm e 50 cm de distância da planta e a profundidade entre 25 cm e 50 cm são consideradas as mais adequadas para a instalação do sensor a ser utilizado para indicar quando irrigar. Para fruteiras com menor espaçamento entre plantas (bananeira, aceroleira, maracujazeiro, etc.), os sensores podem ser posicionados entre 15 cm e 50 cm do caule, na direção planta-emissor, e entre 20 cm e 40 cm de profundidade.

Indicadores de manejo de irrigação com base na atmosfera

Medidas diretas de algumas variáveis climáticas são de fundamental importância para o manejo da água de irrigação, pois permitem estimar, de forma indireta, a evapotranspiração da cultura (ETc) e, consequentemente, a quantidade de água a ser reposta ao solo

entre duas irrigações consecutivas, desde que a precipitação efetiva seja subtraída.

Similarmente aos indicadores de manejo com base na planta, a determinação da evapotranspiração da cultura a partir de fatores climáticos, por si só, não possibilita determinar quando as irrigações devem ser realizadas. Essa limitação é facilmente resolvida caso se disponha de informações sobre a capacidade de retenção de água pelo solo. Nesse caso, o momento de irrigar pode ser definido de duas formas: a) estabelecendo-se um turno de rega fixo para cada estádio de desenvolvimento da cultura a partir da relação entre a lâmina real de água disponível no solo (LRD) e a ETc; b) por meio do balanço de água no solo, sendo as irrigações realizadas quando o somatório das evapotranspirações (menos as precipitações efetivas) atingir o valor de LRD.

A ETc pode ser determinada de forma direta, por meio de lisímetros. No entanto, em razão dos custos de instalação e dos cuidados necessários na operação, os lisímetros são basicamente utilizados em experimentação agrícola. Permitem determinar, de maneira indireta, os coeficientes de cultura (Kc) para posterior utilização na estimativa da ETc, utilizando-se a equação 10:

$$ETc = Kc \times ETo \quad (10)$$

em que ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}), Kc o coeficiente de cultura (adimensional) e ETo a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

A ETc e o Kc na equação 10 representam a evapotranspiração para condições normais de desenvolvimento da cultura, ou seja, sem estresse hídrico ou salinidade e em condições em que cerca de

100% da superfície do solo é molhada durante a irrigação, como é o caso dos sistemas de aspersão.

Em condições normais de cultivo, a ETc atual ou real pode ser menor que a determinada na equação 10. O estresse hídrico e o salino reduzem a componente da transpiração. Já o molhamento de parte da superfície do solo reduz a componente da evaporação. Assim, para condições em que a evapotranspiração é limitada por condições de cultivo ou manejo, a ETc atual pode ser calculada pela equação 11 (ALLEN et al., 2007):

$$ETc_{atual} = Kc_{atual} \times ETo \quad (11)$$

em que ETc_{atual} é a evapotranspiração da cultura na condição atual ou real (mm dia^{-1}) e Kc_{atual} o coeficiente de cultura na condição atual ou real (adimensional).

A evapotranspiração de referência (ETo), que expressa a influência do clima sobre a cultura de referência (grama-batatais), é determinada por métodos que se baseiam em dados climáticos. Utilizam desde equações simples, com base somente em valores médios de temperatura do ar, por exemplo, até equações mais complexas, baseadas em modelos físicos, passando por métodos evaporimétricos, como o do tanque Classe A. Uma ampla revisão sobre os principais métodos para determinação indireta de ETc pode ser encontrada em Gomide e Maeno (2008), Jensen et al. (1990), Lascano (2007) e Pereira et al. (1997).

A escolha do método a ser utilizado para determinação de ETo depende da precisão desejada e da disponibilidade de dados climáticos. Por exemplo, para manejo de água em tempo real, o método combinado de Penman-Monteith, segundo parametrização

da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (ALLEN et al., 1998), considerado como padrão internacional, é o mais recomendado.

O método do tanque Classe A, apesar de indicado para estimativa de ETo para períodos acima de 5 dias, dada sua praticidade, baixo custo e boa precisão, era muito usado para fins de manejo em tempo real até a chegada das estações agrometeorológicas automáticas. Métodos como os de Blaney-Criddle-FAO, Radiação-FAO e Jensen-Haise (referência alfafa) são recomendados para períodos acima de 5 dias, enquanto métodos como os de Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor são recomendados para períodos acima de 10 dias (DOORENBOS; PRUITT, 1977; JENSEN et al., 1990). Esses métodos não devem ser utilizados para manejo em tempo real, especialmente quando os intervalos entre irrigações são menores que o período mínimo recomendado para uso do método. Todavia, podem ser utilizados na determinação da ETc para fins de projeto de irrigação e estabelecimento de calendários de irrigação, em que os turnos de rega e as lâminas de irrigação são prefixados com base em dados históricos de evapotranspiração e de armazenamento de água no solo.

Coeficiente de cultura

Coeficientes de cultura (Kc) são determinados experimentalmente para cada cultura durante seus diferentes períodos de desenvolvimento. Segundo Pereira e Allen (1997), os valores de Kc integram três características distintas da superfície evaporante

(cultura-solo): a) altura e morfologia da cultura, que afetam a rugosidade e a resistência aerodinâmica da superfície evaporante; b) resistência de superfície evaporante, que é afetada pela área foliar, fração de área vegetada, idade e condição das folhas, além da umidade na superfície do solo; c) albedo da superfície evaporante.

Numerosos estudos têm sido realizados e publicados em todo o mundo contendo valores de Kc para muitas culturas. Os valores geralmente representam a média temporal dos efeitos conjugados da transpiração da cultura e da evaporação do solo, incluindo os efeitos de umedecimento do solo pela irrigação ou precipitação. Assim, segundo Allen et al. (1998), são denominados de Kc médio para condições normais de desenvolvimento da cultura, ou seja, sem estresse hídrico ou salino e com molhamento de toda a superfície do solo. Adicionalmente, o valor de Kc também depende do método utilizado para a determinação de ETo, pois é obtido pela relação entre ETc e ETo. Os valores de Kc tabelados disponíveis na literatura técnica são comumente para uso com a equação de Penman-Monteith da FAO.

De acordo com a metodologia da FAO para a estimativa dos valores de Kc (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; PRUITT, 1977), o ciclo de desenvolvimento de culturas anuais é dividido em quatro estádios:

• Estádio inicial (I) – do plantio ou transplante de mudas até o estabelecimento inicial das plantas (cobertura do solo < 10%).

• Estádio vegetativo (II) – do final do estádio I até 70% a 80% do máximo desenvolvimento da cultura (plena floração, no caso de espécies que florescem).

• Estádio de produção ou reprodutivo (III) – do final do estádio II até o início da maturação ou pré-colheita (caso de espécies que são colhidas antes de completarem o ciclo).

• Estádio de maturação ou pré-colheita (IV) – do final do estádio III até a colheita.

No caso de espécies anuais do tipo fruto, como a berinjela, o pimentão e o tomate, em que é comum a ocorrência de um período em que existem flores, frutos verdes e maduros, o que requer a realização de várias colheitas, o término do estádio de produção deve ser por ocasião do início da maturação dos frutos a serem colhidos na antepenúltima colheita. Para as hortaliças do tipo tubérculo, como a batata, o estádio de produção é definido pelo início da formação de tubérculos até o momento em que atingem o máximo desenvolvimento. Para as brássicas (repolho, couve-flor, etc.), o estádio de produção compreende o período entre o início de formação das cabeças ou inflorescências e o seu máximo desenvolvimento. Para as hortaliças do tipo raiz, como a cenoura, o estádio de produção vai do desenvolvimento (engrossamento) acentuado de raízes até o início da senescência da parte aérea. Para as folhosas (alface, rúcula, etc.), o estádio de produção deve abranger o período entre 80% do máximo desenvolvimento da planta até uma semana antes da colheita (MAROUELLI et al., 2008c). Para o caso das cucurbitáceas (melão, melancia, etc.), o máximo desenvolvimento das plantas ocorre entre 20 e 50 dias, que coincide com o início da floração e frutificação.

Os períodos de desenvolvimento e de produção das fruteiras variam muito entre espécies. Fruteiras como o mamoeiro e a bananeira, por exemplo, apresentam todos os estádios bem-definidos, conforme

apresentado anteriormente, do plantio até a primeira colheita. A partir daí, há uma sobreposição entre os estádios vegetativos de produção e de maturação, sendo mais seguro, para fins de manejo de água, considerar um valor de Kc equivalente ao do estádio de produção (III). No caso do maracujazeiro-amarelo, cujo ciclo pode chegar a até três anos e as plantas possuem ciclos alternados de vegetação e de produção, dependendo da região, o crescimento e a floração podem ocorrer de forma quase contínua, podendo-se assim utilizar um valor médio de Kc.

Fruteiras arbóreas, como os citros e a mangueira, por outro lado, apresentam um estádio vegetativo prolongado, que pode se estender até o terceiro ano depois do plantio. A partir daí, a cultura entra num período intercalado por ciclos de produção e de crescimento vegetativo. Assim, cada colheita é seguida de indução floral, floração, crescimento, desenvolvimento e maturação dos frutos. No período de crescimento vegetativo, a área foliar e as características morfológicas das plantas podem sofrer alterações por podas de manutenção ou podas vegetativas drásticas. Dessa forma, o valor de Kc para fruteiras varia de ano para ano, à medida que as plantas se desenvolvem, e também dentro de cada ano, em virtude da alternância entre os ciclos de produção e vegetativo, períodos de podas ou repouso fenológico que antecedem a floração.

Na metodologia proposta pela FAO (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; PRUITT, 1977), a curva de Kc é ajustada a partir de três pontos: Kc médio durante o estádio inicial (Kc_{ini}), Kc médio durante o estádio de produção (Kc_{pro}) e Kc final do estádio de maturação (Kc_{fin}), conforme representado na Figura 8.

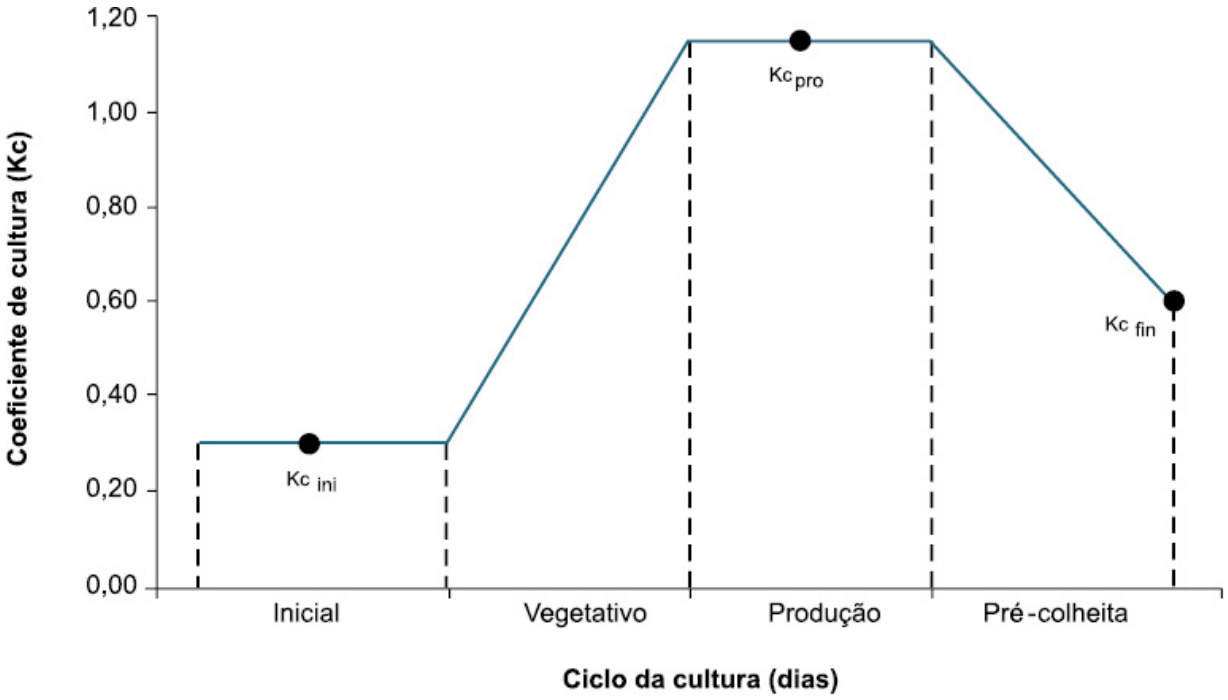


Figura 8. Modelo teórico da curva de coeficiente de cultura (Kc), com indicação dos estádios de desenvolvimento da cultura.

Fonte: Allen et al. (1998).

Na Tabela 9, são apresentados valores de Kc médios dos três estádios fenológicos (Kc_{ini}, Kc_{pro} e Kc_{fin}) para as principais hortaliças e fruteiras, para uso com a equação de Penman-Monteith, da FAO. Os valores de Kc apresentados na Tabela 9 são para condições de clima subúmido, ou seja, umidade relativa mínima do ar da ordem de 45% e velocidade do vento de 2 m s^{-1} a 2,0 m de altura. Para ajustes nos valores de Kc, em razão das condições climáticas distintas – o que nem sempre se faz necessário na prática –, deve-se consultar procedimento apresentado por Allen et al. (1998).

Tabela 9. Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para plantas sem estresse, em condições de clima subúmido[1] ($UR_{min} \approx 45\%$, $U_2 \approx 2$ m s^{-1}), conforme o estádio de desenvolvimento, para uso com a equação de Penman-Monteith-FAO.

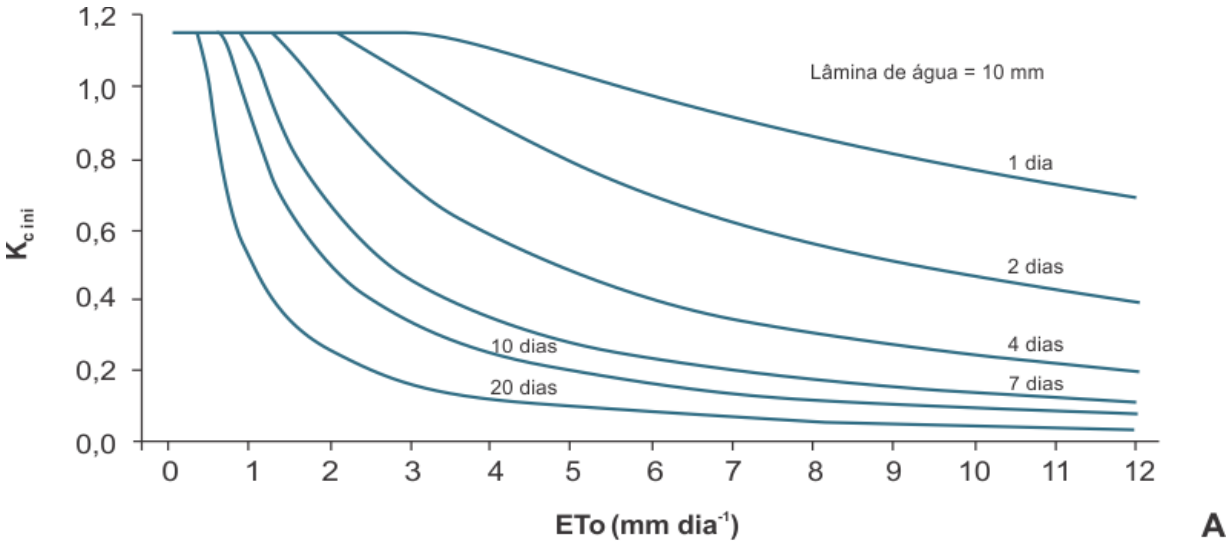
Cultura	Estádio da cultura[2]

Cultura	Estádio da cultura[2]		
	Kc_{ini}[3]	Kc_{pro}	Kc_{fin}
	Kc_{ini}[3]	Kc_{pro}	Kc_{fin}
Hortaliça			
Abóbora-seca	0,50	1,00	0,75
Alface	0,70	1,05	0,95
Alho	0,65	1,00	0,70
Batata	0,50	1,15	0,75/0,40[5]
Batata-doce	0,50	1,15	0,65
Berinjela	0,60	1,05	0,85
Beterraba	0,50	1,05	0,95
Brócolis	0,65	1,05	0,95
Cebola	0,65	1,05	0,75
Cenoura	0,70	1,05	0,95
Couve-flor	0,65	1,05	0,95
Ervilha	0,45	1,00/1,15[4]	1,00/0,30[6]
Feijão-vagem	0,40	1,05/1,15[4]	0,90
Lentilha	0,40	0,95	0,30
Melancia	0,40	1,00	0,75
Melão	0,50	1,00/1,10[4]	0,70
Milho-doce	0,30	1,15	1,05
Morango	0,40	0,90	0,75
Pepino	0,50	1,00/1,15[4]	0,75
Pimentão	0,60	1,05/1,15[4]	0,90
Repolho	0,65	1,05	0,95
Tomate de mesa	0,60	1,15/1,20[4]	0,85
Tomate industrial	0,55	0,95	0,60
Fruteiras			
Abacate	0,60	0,85	0,75
Abacaxi	0,50	1,05	0,90
Banana 1º ano	0,50	1,10	1,00
Banana 2º ano	1,00	1,20	1,10

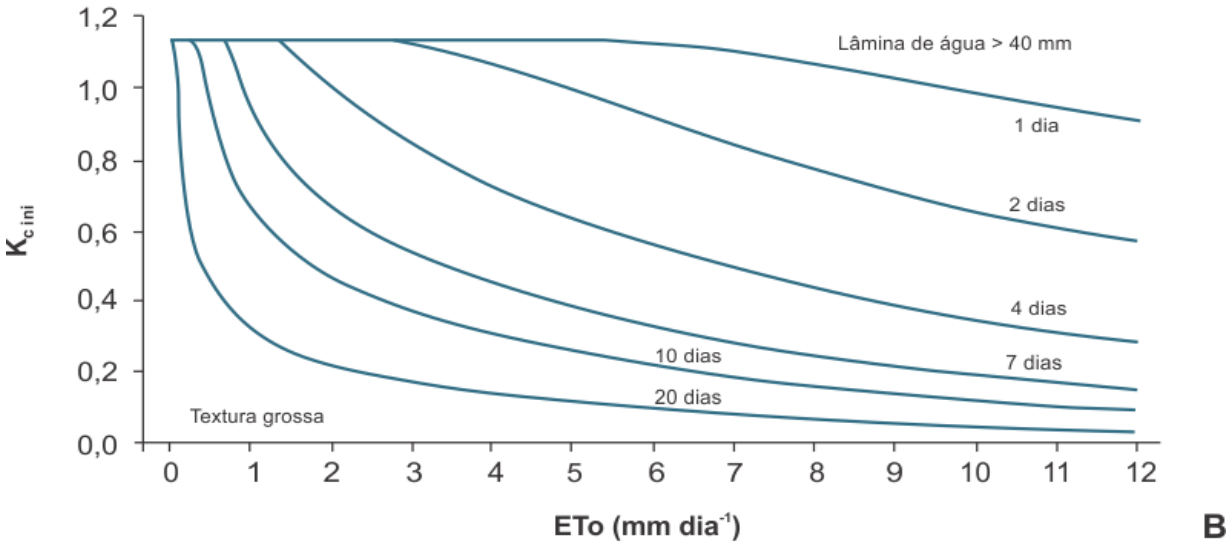
Cultura	Estádio da cultura[2]		
	Kc_{ini}[3]	Kc_{pro}	Kc_{fin}
Caju	0,55	0,65	0,60
Citros	0,85	0,85	0,85
Goiaba	0,70	0,84	0,75
Mamão	0,55	1,20	0,90
Manga	0,40	0,95	0,75
Maracujá	0,55	1,20	0,85
Uva de mesa	0,30	0,85	0,45
Uva vinífera	0,30	0,70	0,45

[1] Para condições distintas de clima, o valor de Kc pode ser ajustado segundo Allen et al. (1998).
[2] Kc_{ini} representa o valor médio de Kc durante o estádio inicial, Kc_{pro} durante o estádio de produção e Kc_{fin} no final do estádio de maturação ou pré-colheita.
[3] Valor de Kc_{ini} para condições médias de cultivo. Para estimativa mais precisa, utilizar a Figura 9.
[4] O segundo número refere-se à condição de cultivo tutorado de plantas.
[5] O segundo número refere-se à situação de dessecação das ramas.
[6] O primeiro número refere-se à ervilha-verde e o segundo, à ervilha-seca.
Obs.: UR_{min} é a umidade relativa mínima do ar e U_2 é a velocidade do vento a 2 m da superfície.
Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Coelho et al. (2000), Ferreira (2004), Marouelli et al. (2008c), Montenegro et al. (2004), Pontes (2002) e Souza et al. (2009).

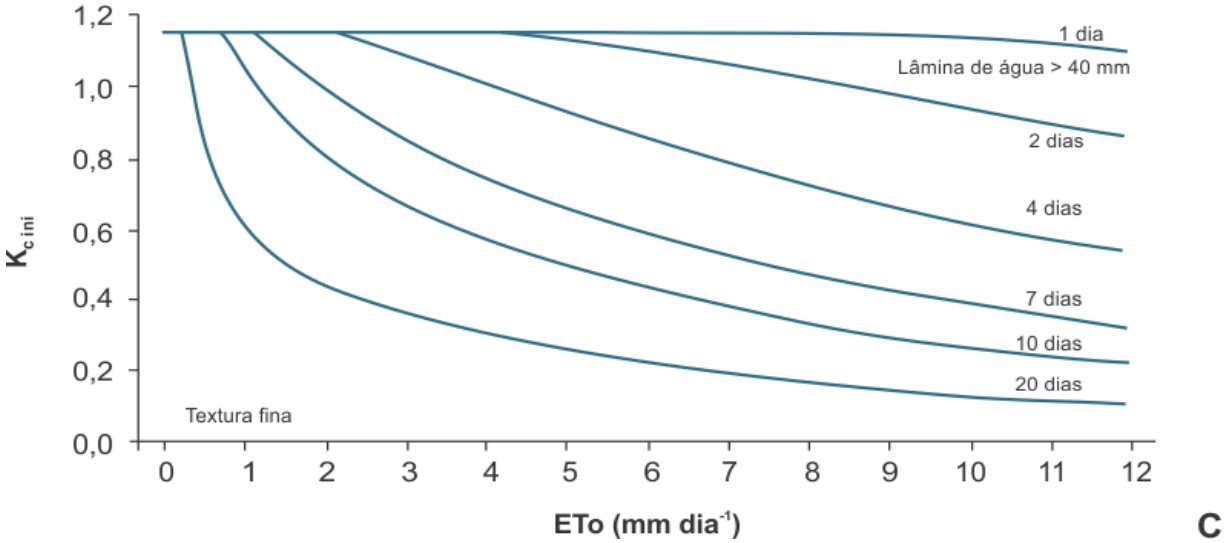
A ETc, durante o estádio inicial, é função, predominantemente, da evaporação do solo em virtude da pouca cobertura vegetal. Dessa forma, é muito dependente da frequência de irrigação, da demanda evaporativa da atmosfera e do tipo do solo. Recomenda-se determinar um valor mais preciso de Kc_{ini} utilizando-se a Figura 9, em que o Kc_{ini} é função da ETo, da textura e da frequência de molhamento da superfície do solo. Segundo Allen et al. (2007), os valores de Kc_{pro} e Kc_{fin} são menos afetados pela frequência de irrigação, pois a vegetação durante esses estádios cobre grande parte da superfície do solo.


Lâmina de água = 10 mm
1 dia
2 dias
4 dias
7 dias
10 dias
20 dias
$K_{c\,ini}$
ETo (mm dia^{-1})

A


Lâmina de água > 40 mm
1 dia
2 dias
4 dias
7 dias
10 dias
20 dias
Textura grossa
$K_{c\,ini}$
ETo (mm dia^{-1})

B


1 dia
Lâmina de água > 40 mm
2 dias
4 dias
7 dias
10 dias
20 dias
Textura fina
$K_{c\,ini}$
ETo (mm dia^{-1})

C

Figura 9. Valores de Kc médios durante o estádio inicial de desenvolvimento da cultura (Kc_{ini}), conforme a evapotranspiração de referência (ETo) e intervalo entre irrigações para todos os tipos de solo quando a lâmina de irrigação é de 10 mm (A), solos de textura grossa e lâmina de irrigação acima de 40 mm (B), e solos de texturas média e fina e lâmina de irrigação acima de 40 mm (C).

Fonte: Allen et al. (1998).

Diferentes fatores podem afetar a magnitude de Kc, dependendo das condições predominantes de cultivo, tais como diferenças de desenvolvimento da cultura resultantes de variações climáticas ou datas de plantio, resistência estomática em resposta a condições atmosféricas adversas, cultivares/variedades e morfologia da cultura, fertilidade do solo, ocorrência de pragas e doenças, intervalo entre irrigações, disponibilidade de água, tipo de solo e densidade de plantio (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; PRUITT, 1977; PEREIRA et al., 1997).

Coeficientes de cultura são empíricos, úteis à estimativa indireta de ETc, e, por mais precisos que sejam os valores de Kc utilizados, o usuário deve estar ciente de que erros ocorrem e são cumulativos. Assim, medições periódicas do teor de água no solo, dentro e logo abaixo da zona radicular da cultura, possibilitam verificar problemas de excesso ou falta de água, o que permite inclusive ajustes nos valores de Kc a serem usados em safras seguintes.

Existem condições de cultivo que diferem substancialmente das condições-padrão para as quais os valores de Kc apresentados na Tabela 9 são recomendados. Primeiramente, a umidade do solo na zona radicular pode ser insuficiente para manter a plena transpiração das plantas, o que pode ser resultante, por exemplo, de uma estratégia de manejo em que a cultura é submetida a deficit hídrico controlado durante estádios específicos de desenvolvimento,

como é o caso de indução floral em algumas espécies. Outra situação ocorre quando a ETc é limitada em virtude de o sistema de irrigação não molhar toda a superfície do solo, como no caso do gotejamento e da microaspersão localizada. Para tais condições, o valor atual de Kc (Kc_{atual}) pode ser determinado pela equação 12.

$$Kc_{atual} = K_S \times K_L \times Kc \quad (12)$$

em que Kc_{atual} é o coeficiente atual de cultura (adimensional), K_S o coeficiente de ajuste em virtude do deficit de água no solo (adimensional) e K_L o coeficiente de ajuste em decorrência da aplicação localizada da água (adimensional).

Segundo Allen et al. (1998), a transpiração da cultura é muito pouco afetada quando a umidade de solo encontra-se entre a capacidade de campo e a umidade crítica para a cultura (θ_{UIc}). Contudo, quando a umidade do solo atinge valores abaixo da θ_{UIc}, a redução da ETc, e, portanto, de Kc, aproxima-se a um modelo linear. Com base no modelo linear, Pereira e Allen (1997) propuseram que a relação para Ks, quando a umidade atual do solo for menor que a θ_{UIc}, pode ser descrita pela equação 13:

$$K_S = \frac{(\theta_a - \theta_{CC})}{(\theta_{UIc} - \theta_{CC})} \quad (13)$$

em que θ_a é a umidade atual do solo ($cm^3\ cm^{-3}$).

O valor de θ_{UIc} pode ser determinado a partir da curva de retenção de água no solo ou utilizando-se a equação 14, obtida a partir das equações 5 e 8:

$$\theta_{UIc} = \theta_{CC} - (\theta_{CC} - \theta_{PMP})\, f_r \quad (14)$$

Bernardo et al. (2005) relataram que a ETc_{atual} mantém-se acima de 90% da potencial enquanto a umidade do solo estiver acima de um terço da água disponível no solo, caindo rapidamente, de forma exponencial, até a condição de ponto de murcha permanente. Para tal comportamento, esses autores propuseram a relação descrita pela equação 15:

$$K_S = \frac{Ln\left(LAT + 1\right)}{Ln\left(LTD + 1\right)} \quad (15)$$

em que Ln é o logaritmo neperiano e LAT a lâmina atual de água disponível no solo para as plantas (mm).

Existem diversas metodologias para determinação do coeficiente de ajuste em razão da aplicação localizada da água (K_L), sumarizadas por Lopez et al. (1997). As mais frequentemente utilizadas são representadas pelas equações 16, 17 e 18:

- Keller (1978)

$$K_L = A_{ms} + 0{,}15\ (1 - A_{ms}) \quad (16)$$

- Fereres (1981)

$$\text{Se } A_{m/s} \geq 0{,}65 \rightarrow K_L = 1{,}0 \quad (17a)$$

$$\text{Se } 0{,}20 < A_{m/s} < 0{,}65 \rightarrow K_L = 1{,}09\ A_{m/s} + 0{,}3 \quad (17b)$$

$$\text{Se } A_{m/s} \leq 0{,}20 \rightarrow K_L = 1{,}94\ A_{m/s} + 0{,}10 \quad (17c)$$

- Keller e Bliesner (1990)

$$K_L = \sqrt{A_{m/s}} \quad (18)$$

em que $A_{m/s}$ é a fração de área molhada ou sombreada, prevalecendo o maior valor.

Segundo Mantovani et al. (2006), a metodologia proposta por Keller (1978) é mais recomendada para culturas com maior densidade de plantio, como as hortaliças, enquanto a proposta por Fereres (1981) é mais indicada para culturas com maior espaçamento entre plantas, como as fruteiras. Já a equação proposta por Keller e Bliesner (1990), por ser uma relação intermediária às demais, tem sido indicada para uso geral.

Métodos de manejo da água de irrigação

Depois de selecionado e instalado o sistema de irrigação mais apropriado para as condições locais de solo, clima e socioeconômicas, é necessário adotar uma metodologia para o manejo da água de irrigação capaz de indicar, de forma minimamente precisa, quando irrigar e quanto de água aplicar por irrigação.

A utilização de um ou mais indicadores com base na planta, no solo e/ou na atmosfera para indicação de quando e quanto irrigar torna

disponível um grande número de métodos de manejo de irrigação. Ademais, cada indicador pode ser avaliado por várias técnicas e equipamentos distintos.

Para responder à questão de quando irrigar, além da escolha do indicador a ser utilizado, deve-se considerar outro aspecto importante relacionado ao fato de o turno de rega poder ser prefixado ou variável. A estratégia desejável é a adoção de turno de rega variável, porque o solo é um reservatório limitado de água e a demanda de água pelas plantas (ETc) é variável ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura e em função das variações climáticas.

Entretanto, segundo Bernardo et al. (2005), existem situações em que pode ser necessário prefixar o turno de rega, como, por exemplo, em projetos de irrigação de múltiplos usuários, com características específicas de distribuição de água ou com capacidade limitada de atender a toda a área irrigada. Adicionalmente, segundo Marouelli e Guimarães (2006), o conhecimento antecipado da data das irrigações, predefinindo turnos de rega para cada estádio da cultura, possibilita que as práticas culturais e outras atividades na propriedade possam ser antecipadamente planejadas. Sobretudo para produtores de hortaliças, como batata, pimentão e tomate, é altamente desejável manejar a irrigação a partir de turnos de rega prefixados, visto que as irrigações e os tratos fitossanitários são relativamente frequentes, havendo necessidade de planejar as diversas práticas culturais entre os eventos de irrigação. A questão fitossanitária é crítica na irrigação por aspersão de várias espécies de plantas, cuja água aplicada sobre as folhas pode interferir negativamente no controle químico de pragas e doenças. Outras condições, que requerem a adoção de turno de rega prefixado, ocorrem quando o manejo de

água for realizado com base em dados históricos de ETc e em projetos coletivos de irrigação, onde cada irrigante recebe água em dias previamente estabelecidos.

A prefixação do turno de rega pode trazer maior praticidade na programação das irrigações; porém, pode influenciar negativamente na produtividade e/ou na eficiência de uso da água. Isso porque, quando se adota um turno de rega prefixado, mesmo aplicando-se a lâmina de água necessária para retornar o solo à sua condição de capacidade de campo, as plantas poderão sofrer com a falta de água durante certo período de tempo, principalmente em solos com menor capacidade de retenção de água e em regiões com maior variabilidade climática. Por outro lado, a adoção de um turno de rega muito pequeno pode trazer problemas fitossanitários à cultura e de desenvolvimento superficial das raízes, entre outros.

Para responder à questão de quanto irrigar, dois procedimentos principais devem ser considerados: um a partir da avaliação do teor de água no solo (indicador de solo) e outro, da determinação da ETc (indicador com base na atmosfera).

Dada a dinâmica da necessidade diária de água das plantas e os inúmeros fatores que a afetam, os métodos mais recomendados para estabelecer a quantidade de água a ser aplicada em lavouras comerciais sensíveis ao estresse hídrico e de alto retorno econômico são, segundo Thompson et al. (2007), aqueles com base na estimativa da ETc em tempo real, usando-se o procedimento da FAO (ALLEN et al., 1998), e com base no uso de sensores de umidade ou de tensão de água no solo. A título de ilustração, é apresentada na Tabela 10 a precisão relativa dos principais métodos de manejo da água de irrigação.

Tabela 10. Nível relativo de precisão dos principais métodos de manejo da água de irrigação.

Precisão	Método de manejo
0	Adivinhação (somente experiência do produtor)
1	Tato-aparência
2	Calendário de irrigação (dados históricos de ETc)
3	Estado da água no solo
4	Estado da água no solo e evapotranspiração
5	Balanço diário de água no solo
6	Balanço diário de água no solo com medição do estado da água no solo para ajustes do balanço

Fonte: adaptado de Simonne et al. (2006).

A seguir, são apresentados quatro métodos para manejo da água de irrigação que, de alguma forma, englobam a grande maioria daqueles existentes. Para cada método, serão apresentadas suas principais variantes, especialmente aquelas relacionadas ao uso de diferentes indicadores e à adoção de turno de rega variável e prefixado.

Método do balanço diário de água no solo

O método do balanço diário de água na zona radicular consiste na realização de um controle diário da ETc, precipitação pluviométrica, lâmina de irrigação e ascensão capilar da água, além das perdas de água por percolação profunda e escoamento superficial. Existem

muitas variações e simplificações desse método, dependendo de como seus parâmetros são avaliados.

Em condições de irrigação controlada, em que as perdas de água por percolação profunda e escoamento superficial são mínimas, e quando o lençol freático é profundo o suficiente para tornar o fluxo capilar ascendente desprezível, as variáveis necessárias à determinação da lâmina de água disponível no solo ficam restritas à ETc, à precipitação efetiva e à lâmina de irrigação. Assim, considerando-se uma lâmina de água inicialmente disponível no solo (LRD), a determinação diária da ETc e da precipitação efetiva permite definir tanto o momento de irrigar quanto a lâmina de água a ser aplicada (MANTOVANI et al., 2006; MAROUELLI et al., 1996).

A irrigação deve ser realizada em qualquer momento em que a disponibilidade de água no solo estiver reduzida a um valor mínimo, desde que não prejudique o desempenho da cultura (turno de rega variável), ou seja, quando a relação descrita pela equação 19 for verdadeira.

$$\sum_{i=1}^{n} \left(ETc_{\,i} - Pe_{\,i} \right) \geq LRD \qquad (19)$$

em que n é o número de dias entre duas irrigações consecutivas e Pe a precipitação efetiva (mm dia^{-1}).

A lâmina de água real disponível no solo (LRD) pode ser determinada pelas equações 7 ou 8. A equação 7 é indicada quando se dispõe da curva de retenção de água no solo e utilizando-se dados de tensão crítica recomendada para a cultura (Tabelas 4, 5 ou 6).

Definido o momento de irrigar, a quantidade de água necessária para repor a água utilizada pelas plantas e perdida por evaporação pode ser calculada pelo somatório da diferença entre a ETc e a precipitação efetiva ocorrida desde a última irrigação, conforme descreve a equação 20:

$$LRN = \sum_{i=1}^{n} \left(Etc_i - Pe_i \right) \quad (20)$$

em que LRN é a lâmina de água real necessária à irrigação (mm).

É importante verificar que nas equações 19 e 20 também não foi considerada a lâmina de água interceptada pelo dossel da cultura. De maneira geral, a fração de água retida no dossel é muito pequena em comparação com o total aplicado por irrigação por aspersão. Em situações que requerem irrigações frequentes (uma ou mais irrigações diárias) com a aplicação de pequenas lâminas (<5 mm), tais perdas passam a ser significativas e devem ser consideradas.

O uso do balanço de água no solo requer, no início das irrigações, que o solo esteja na capacidade de campo. Caso contrário, é necessário conhecer, por meio de avaliações de campo, a umidade real do solo antes da primeira irrigação.

O manejo de água pelo método do balanço também pode ser feito a partir de um turno de rega prefixado. Para tal situação, o turno de rega deve ser no máximo igual ao calculado pela equação 21:

$$TR_{\max} = \frac{LRD}{ETc_{hist}} \quad (21)$$

em que TR_{max} é o turno de rega máximo a ser adotado (dias) e ETc_{hist} a evapotranspiração da cultura com base em série histórica (mm dia^{-1}).

Conforme mencionado anteriormente, é desejável adotar um turno de rega prefixado para cada estádio de desenvolvimento da cultura, uma vez que a disponibilidade de água no solo e a ETc variam com a idade das plantas. Por isso, não é recomendável considerar o turno de rega que atenda ao estádio mais crítico, normalmente determinado para fins de dimensionamento do sistema de irrigação.

O valor de ETc a ser utilizado nas equações 19 e 20 deve ser determinado em tempo real, ou seja, usando-se um método que permita o seu cálculo diário. O método de Penman-Monteith é o mais indicado, pois possibilita estimativas horárias de ETc. Métodos com precisão de cinco dias, como o do tanque Classe A, podem ser usados com o devido cuidado.

Por outro lado, a ETc a ser aplicada na equação 21 (ETc_{hist}) deve ser calculada utilizando-se uma série histórica de dados climáticos disponível para a região. Caso não seja possível utilizar o método de Penman-Monteith, pode-se usar um método com precisão de cinco dias ou dez dias em razão da disponibilidade de dados climáticos.

Quando ocorrem precipitações, nem sempre toda a água fica disponível no solo para atender à demanda evapotranspirativa da cultura. Deve-se considerar apenas a precipitação efetiva, ou seja, a diferença entre a precipitação total e a perda de água por percolação profunda e escoamento superficial. Precipitações abaixo de 5 mm geralmente podem ser desprezadas.

A estimativa da precipitação efetiva para períodos de um dia é geralmente difícil de ser realizada com precisão. Para fins de manejo de irrigação, pode ser estimada de maneira aproximada, segundo Marouelli et al. (1996), com base na precipitação e na lâmina de água necessária para restabelecer a capacidade máxima de armazenamento de água do solo, desde que assumidas algumas condições. Primeiramente, pode-se admitir que a perda de água por escoamento superficial é desprezível, quando a precipitação é inferior ao deficit atual de água no solo. Isso porque a lâmina de água necessária para que o solo retorne à condição de capacidade de campo é geralmente inferior a 30 mm e chuvas dessa magnitude, comumente, não acarretam escoamento superficial significativo, exceto em solos de baixa permeabilidade, declivosos ou compactados. No caso de chuvas intensas e/ou quando a umidade do solo estiver próxima à capacidade de campo, podem ocorrer tanto escoamento superficial quanto percolação profunda. Para tal situação, pode-se considerar que a precipitação, mesmo que acarrete escoamento superficial, é capaz de restabelecer a umidade do solo, não sendo imperativo quantificar as perdas por escoamento superficial e percolação profunda. Com base nessas suposições, a precipitação efetiva pode ser estimada, segundo Marouelli et al. (1996), pelas equações 22a ou 22b:

$$\text{Se } P_p < LRN_{atual} \rightarrow P_e = P_p \quad (22a)$$

$$\text{Se } P_p \geq LRN_{atual} \rightarrow P_e = LRN_{atual} \quad (22b)$$

em que P_p é a precipitação pluviométrica (mm) e LRN_{atual} a lâmina atual de água necessária para o solo retornar à condição de capacidade de campo (mm).

O valor de LRN_{atual} na equação 22 pode ser determinada pela equação 23:

$$LRN_{atual} = (\theta_{CC} - \theta_a) \times Z_r \times f_{Am} \quad (23)$$

em que θ_a é a umidade atual do solo ($cm^3\ cm^{-3}$).

Uma limitação do método de manejo com base no balanço de água no solo está na precisão da estimativa da ETc, dependente da equação e da fidelidade dos valores de Kc utilizados. Como o valor de Kc é afetado por diversos fatores, mesmo o uso de coeficientes determinados regionalmente pode não ser totalmente preciso. Além disso, erros na estimativa da capacidade de retenção de água do solo e da precipitação efetiva podem ocorrer em diferentes níveis. Para evitar erros cumulativos e inclusive possibilitar ajustes nos valores de Kc a serem utilizados na safra seguinte, recomenda-se realizar avaliações periódicas da disponibilidade de água no solo ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento da cultura (WRIGHT; STARK, 1990). O teor de água no perfil do solo pode ser avaliado diretamente pelo método gravimétrico ou por sensores de umidade ou de tensão, como o tensiômetro. Nesse caso, tem-se o método do balanço hídrico diário com medição do estado de água no solo para ajustes no balanço e de Kc, o qual, segundo Simonne et al. (2006), é o método mais recomendado (preciso) para manejo da água de irrigação (Tabela 10).

A programação das irrigações usando-se o método do balanço de água no solo pode ser realizada manualmente, por meio de planilhas eletrônicas ou de programas de computador específicos. Albuquerque (2008) e Mantovani et al. (2006) listam vários programas computacionais disponíveis para uso no Brasil.

O grande avanço tecnológico e a redução de custos nas áreas de informática, e estações agrometeorológicas automáticas e transmissão de dados via satélite, rádio ou celular têm permitido, segundo Mantovani et al. (2006), uma expansão da utilização de dados climáticos em tempo real para fins de manejo da água de irrigação. Nesse sentido, existem atualmente no mercado brasileiro empresas especializadas que oferecem serviços e programas de computador para a realização do manejo de água em tempo real pelo método do balanço diário de água no solo. O problema é que, por questões econômicas, algumas dessas empresas somente têm interesse em áreas irrigadas acima de 100 hectares. Todavia, em algumas regiões, já se podem encontrar técnicos autônomos ou pequenas empresas que prestam serviços de “aconselhamento” de irrigação em áreas menores.

Método do estado da água no solo

Conforme mencionado anteriormente, as irrigações devem ser realizadas em qualquer momento cuja umidade do solo ou tensão de água no solo atingir um valor a partir do qual a produtividade da cultura começa a ser afetada negativamente. Para irrigar no momento certo, é necessário o monitoramento contínuo, no local de cultivo, do teor ou da tensão de água no solo. Isso pode ser feito por meio de sensores que medem diretamente a tensão de água, como o tensiômetro e o Irrigas®, ou a umidade do solo, como sensores do tipo capacitivo e TDR, ou ainda por meio de amostragem de solo, como o método gravimétrico. O método do tato-aparência, apesar

do empirismo, possibilita uma avaliação qualitativa da fração de água disponível no solo e, portanto, pode ser incluído no grupo de métodos aqui denominado método do estado da água no solo.

A decisão sobre quando irrigar deve ser feita com base em avaliações da tensão, umidade ou disponibilidade de água no solo entre 40% e 50% da profundidade efetiva do sistema radicular. Leituras discrepantes, em virtude de problemas de local de instalação, amostragem ou funcionamento do sensor, não devem ser consideradas no cálculo da média das leituras.

O momento de irrigar geralmente é estabelecido em razão da tensão crítica de água no solo para a cultura de interesse, como indicado nas Tabelas 4, 5 e 6. A umidade crítica do solo para fins de irrigação (θ_{UIc}) deve ser determinada com base na tensão crítica de água no solo, caso se disponha da curva de retenção de água no solo. Sem a curva de retenção, a umidade crítica pode ser determinada pela equação 14 em razão da capacidade de campo, do ponto de murcha permanente e do fator de reposição de água ao solo recomendado para a cultura (Tabela 7).

Determinado o momento de irrigar, a quantidade de água a ser reposta ao solo pode ser calculada utilizando-se a equação 24:

$$LRN = (\theta_{CC} - \theta_{UI}) \times Z_r \times f_{Am} \quad (24)$$

em que θ_{UI} é a umidade do solo no momento de irrigar ($cm^3\ cm^{-3}$).

Conforme já discutido, a umidade do solo no momento de irrigar (θ_{UI}) não deve ultrapassar a umidade crítica para a cultura relativamente ao solo em questão (θ_{UIc}). Isso é uma das condições básicas para maximizar a produtividade da cultura e, ao mesmo tempo, otimizar a eficiência do uso de água pelas plantas.

Quando sensores de tensão são utilizados para indicar o momento de irrigar, é desejável dispor da curva de retenção para a determinação da lâmina de irrigação. Marouelli (2008) e Marouelli e Calbo (2009) apresentaram procedimento interativo para o ajuste da lâmina de irrigação quando não se dispõe da curva de retenção. Para uso de tal procedimento interativo, na Tabela 11 é apresentada a sugestão de lâmina de água real necessária por irrigação, conforme a tensão de água no solo no momento da irrigação.

Tabela 11. Sugestão de lâmina de água real necessária por irrigação, em milímetros de água por centímetro de solo, conforme a tensão de água no solo.

Tensão (kPa)	Textura do solo[1]		
	Grossa	Média	Fina
15	0,20	0,36	0,50
20	0,23	0,42	0,60
30	0,28	0,54	0,80
40	0,33	0,66	0,90
50	0,35	0,72	1,00
70	0,38	0,78	1,10

[1] Textura grossa inclui solos de classe textural areia, areia franca e franco arenoso; textura média, solos de classe textural franco, franco siltoso, franco argilo-arenoso e silte; textura fina, solos de classe textural franco argilo-siltoso, franco argiloso, argila arenosa, argila siltosa, argila e muito argiloso.
Obs.: solos de cerrado de textura fina, por apresentarem partículas fortemente agregadas, devem ser considerados, para fins de uso desta tabela, como de textura média.
Fonte: Marouelli (2008).

O manejo de água por meio do método do estado da água no solo permite um controle da irrigação em tempo real, especialmente quando são utilizados sensores que permanecem instalados no campo. Todavia, para o bom funcionamento, os sensores devem ser previamente calibrados e/ou vistoriados e corretamente instalados. Sensores como o tensiômetro, por exemplo, necessitam de

manutenção constante durante todo o tempo de uso. Informações detalhadas sobre procedimentos e cuidados durante o preparo, instalação e uso de tensiômetros e sensores do tipo Irrigas® podem ser encontrados, respectivamente, em Marouelli (2008) e Marouelli e Calbo (2009).

Caso o indicador tato-aparência seja adotado como estratégia de manejo, a interpretação qualitativa da disponibilidade de água no solo é feita usando-se a Tabela 2, conforme indicado anteriormente. A porcentagem de água disponível considerada como crítica para indicar o momento de irrigar uma cultura pode ser determinada utilizando-se a equação 25:

$$AD_c = 100\ (1 - f_r) \quad (25)$$

em que AD_c é a disponibilidade crítica de água no solo (%).

A lâmina de água a ser aplicada por irrigação, quando se utiliza o indicador tato-aparência, pode ser estimada utilizando-se a Tabela 12 em razão das faixas de disponibilidade atual de água no solo indicadas na Tabela 2. Vale destacar novamente que o manejo com base no critério do tato-aparência é pouco preciso, mas muitas vezes possibilita um melhor controle das irrigações para produtores que não utilizam nenhum critério, desde que a amostragem do solo para avaliação da umidade seja feita nos locais corretos.

Tabela 12. Sugestão de lâmina de água real necessária por irrigação, em milímetros de água por centímetro de solo, conforme a disponibilidade atual de água no solo (AD), considerando-se as faixas de AD da Tabela 2.

AD (%)	Textura do solo[1]		
	Grossa	Média	Fina
0–25	0,45	1,05	1,75
25–50	0,30	0,75	1,25

50–75	0,20	0,45	0,75
75–100	0,05	0,15	0,25

(1) Textura grossa inclui solos de classe textural areia, areia franca e franco arenoso; textura média, solos de classe textural franco, franco siltoso, franco argilo-arenoso e silte; textura fina, solos de classe textural franco argilo-siltoso, franco argiloso, argila arenosa, argila siltosa, argila e muito argiloso.
Obs.: solos de cerrado de textura fina, por apresentarem partículas fortemente agregadas, devem ser considerados, para fins de uso desta tabela, como de textura média.

Método combinado do estado da água no solo e da evapotranspiração

O método do estado da água no solo e da evapotranspiração da cultura consiste na combinação de parte dos dois métodos anteriores. O momento de irrigar é determinado a partir de um indicador de umidade ou tensão de água no solo e a quantidade de água a ser aplicada é calculada com base na ETc.

É mais trabalhoso e dispendioso que os dois métodos anteriores, pois requer o monitoramento em tempo real (diário) de indicadores de solo e atmosfera. No entanto, o método pode ser útil, principalmente em cultivos irrigados por sistemas localizados. Na irrigação localizada, a determinação da lâmina de irrigação, a partir de medições da umidade do solo, é mais complexa e sujeita a erros em virtude do fato de que somente parte do perfil do solo é molhada. Além disso, na irrigação localizada é necessário uma série de ajustes nos valores de Kc, o que aumenta o erro associado à determinação de ETc. Assim, o uso combinado desses dois indicadores possibilita minimizar os erros associados na determinação do momento de irrigar e, principalmente, da lâmina de

irrigação. Possibilita ainda realizar ajustes nos valores de Kc utilizados.

A título de exemplo, a quantidade de água aplicada deve ser considerada insuficiente quando a tensão ou umidade média, indicada por sensores instalados a 40–50% da profundidade efetiva das raízes e avaliada antes da irrigação, for sistematicamente maior que a tensão crítica de água no solo ou umidade crítica recomendada para a cultura. Nesse caso, sugere-se fazer um ligeiro aumento (5% a 10%) nos valores de Kc e, assim, aumentar a lâmina de água nas irrigações subsequentes. Por outro lado, as irrigações serão excessivas quando a tensão ou umidade média, indicada por sensores instalados a cerca de 100% da profundidade efetiva, atingir respectivamente valores inferiores a 15–20 kPa ou próximos à capacidade de campo, devendo-se então reduzir o valor de Kc utilizado. Segundo Marouelli et al. (1996), tal procedimento permitirá que os valores de Kc sejam ajustados, de uma safra para a outra, de forma a melhor representar as condições particulares do cultivo em questão.

Método do calendário de irrigação

O método do calendário de irrigação consiste no manejo da água de irrigação por meio da adoção de turnos de rega prefixados, seja para cada estádio de desenvolvimento da cultura, seja para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, e do preestabelecimento das lâminas de água a serem aplicadas com base em dados históricos de ETc.

Esse método somente é recomendado quando não se dispõe de equipamentos que permitam o emprego de um método mais preciso como os anteriormente citados. A baixa precisão desse método decorre de as condições do ambiente, principalmente meteorológicas, serem bastante dinâmicas, e do fato de a necessidade de água para as plantas ocorrer em resposta a um conjunto de fatores que interagem entre si.

Em regiões áridas e semiáridas, ou que apresentam estações secas definidas (Cerrado), a programação antecipada das irrigações pode ser feita com razoável grau de acerto. Nessas condições, a variabilidade da evapotranspiração de ano para ano é geralmente inferior a 25% (HANSON, 1996), o que torna possível prever antecipadamente datas e lâminas de irrigação para combinações específicas de solo, clima, cultura e época de plantio para lavouras menos sensíveis ao estresse hídrico e de baixo a moderado retorno econômico (MAROUELLI, 2000).

O turno de rega a ser prefixado para cada estádio de desenvolvimento da cultura pode ser determinado pela equação 21 a partir de dados históricos de ETc e de armazenamento de água pelo solo. Como muitas vezes a ETc histórica calculada refere-se à ETc média, seu valor pode, a cada dois anos, ser superado em 1, em teoria. Assim, por segurança, é mais prudente prefixar um menor valor de turno de rega, em torno de 25% menor, que o calculado pela equação 21.

A lâmina de água necessária a ser aplicada por irrigação é obtida multiplicando-se o turno de rega pela evapotranspiração, conforme a equação 26:

$$LRN = TR \times ETc_{hist} \quad (26)$$

em que TR é o turno de rega (dias).

O valor da ETc_{hist} deve ser determinado com base em uma série histórica de ETo disponível para a região ou de dados climáticos que possibilitem sua determinação. Dispondo dos dados necessários, sugere-se utilizar o método de Penman-Monteith. Outras opções são os métodos do tanque Classe A, Blaney-Criddle-FAO, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Priestley-Taylor e Radiação-FAO.

Por serem o turno de rega e a LRN calculados previamente, a partir da ETc média mensal histórica, igualmente distribuída durante o mês em consideração, a irrigação pode ser deficiente ou em excesso uma vez que não se consideram as variações da demanda evaporativa da atmosfera ao longo do tempo. Assim, ambos os valores não devem ser tomados como fixos, mas como aproximações ou guias de irrigação. Nesse sentido, Marouelli et al. (2008c) apresentaram procedimentos visando adequar a LRN em decorrência de variações climáticas bruscas e prorrogar a data da irrigação em decorrência de chuvas.

Visando auxiliar os produtores de hortaliças com menor experiência e que não adotam critérios e/ou equipamentos para manejar a irrigação de forma consistente, Marouelli et al. (2008c) desenvolveram tabelas que permitem programar antecipadamente as datas e lâminas de irrigação para diferentes hortaliças irrigadas por aspersão, a partir de dados históricos de temperatura e umidade relativa média do ar, tipo de solo e profundidade efetiva do sistema radicular.

Manejo de irrigação com água salina

A concentração de sais dissolvidos na água de irrigação não é, em muitas situações, suficiente para prejudicar a produção de muitas culturas. Os danos são em razão, quase sempre, dos sais que vão acumulando-se no solo e salinizando-o gradativamente. O problema é mais frequente em regiões áridas e semiáridas, onde é comum a presença de sais solúveis na água e/ou no solo e a evapotranspiração é maior que a precipitação pluviométrica, o que provoca o acúmulo de sais no solo. Para cultivo em ambiente protegido, onde a chuva não molha a área e o uso do solo é intensivo, até mesmo com a aplicação intensa de adubações, a salinização também pode ocorrer.

Problemas de salinização em áreas irrigadas, em regiões áridas e semiáridas, ocorrem em consequência da elevação do lençol freático por causa da deficiência de drenagem natural ou artificial. Ao se elevar, o lençol freático traz consigo sais que irão se acumular na zona radicular e na superfície do solo. Nessas situações, o primeiro problema a ser resolvido é o rebaixamento do lençol freático por meio da implantação de um sistema de drenagem artificial. Segundo Ayers e Westcot (1991), a profundidade em que o lençol freático deve ser estabilizado é geralmente superior a 2 m.

A salinização do solo atenua a disponibilidade de água para as plantas em vista do aumento do valor absoluto do potencial osmótico do solo e, consequentemente, do potencial total. Além disso, alguns sais causam problemas de toxidez às plantas. Sendo o processo da osmose dependente da concentração de sais, o

potencial osmótico da água do solo, segundo Richards (1954), pode ser estimado, aproximadamente, utilizando-se a equação 27:

$$Po = -36\ CEe \quad (27)$$

em que Po é o potencial osmótico do extrato do solo (kPa) e CEe é a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo a 25 °C (dS m^{-1}).

Para contrabalançar a redução no potencial total, deve-se manter o solo mais úmido que o normal por meio de irrigações mais frequentes. Tal estratégia de manejo facilitará a absorção de água pelas plantas, pois quanto maior o teor de água no solo, menores serão a tensão osmótica e a tensão matricial, principais componentes da tensão total da água no solo.

A aplicação de uma lâmina de água adicional de lixiviação é outra estratégia que deve ser adotada quando se utiliza água salina. A água de lixiviação reduz o acúmulo de sais na zona radicular, minimizando os efeitos do potencial osmótico. A estratégia é aplicar uma lâmina de água maior que a lâmina real necessária (LRN), e que seja suficiente para lixiviar o excesso de sais para além da zona radicular.

As perdas de água por percolação profunda, que normalmente estão associadas à ineficiência dos sistemas de irrigação, são úteis em áreas com problemas de salinidade. Segundo Ayers e Westcot (1991), tais perdas são muitas vezes suficientes para manter o balanço de sais no solo em nível adequado.

A fração de água em excesso para lixiviação dos sais é normalmente determinada a partir da salinidade da água de irrigação e do nível crítico de tolerância da cultura. Para irrigação

por aspersão e por sulco, o cálculo da lixiviação mínima requerida pode ser determinado pela equação 28 (AYERS; WESTCOT, 1991; KELLER; BLIESNER, 1990):

$$LR = \frac{CEa}{5 \times CEe_{crit} - CEa} \quad (28)$$

em que LR é a fração de lixiviação mínima requerida (decimal), CEa a condutividade elétrica da água de irrigação (dS m^{-1}) e CEe_{crit} a condutividade elétrica crítica do extrato de saturação do solo (dS m^{-1}).

Para irrigação por gotejamento e microaspersão, com alta frequência de aplicação de água, a fração de lixiviação pode ser calculada pela média das equações 29 e 30, apresentadas por Keller e Bliesner (1990) e Smith e Hancock (1986), respectivamente:

$$LR = \frac{CEa}{2 \times CEe_{100\%}} \quad (29)$$

em que $CEe_{100\%}$ é a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo para a qual a produtividade é reduzida em 100% (dS m^{-1}).

$$CEe_{crit} = \frac{0{,}5\ CEa}{1 - LR} \times \ln\left(\frac{1}{LR}\right) \quad (30)$$

O valor de CEe_{crit} pode ser determinado na Tabela 13 em razão da porcentagem de redução de produtividade que se pode tolerar. Nota-se que, quanto menor a perda de produtividade tolerada, maior a fração de lixiviação. Em geral, calcula-se o valor de LR permitindo-se uma redução de produtividade de 10%. Para condições

extremas, ou seja, água muito salina e disponibilidade limitada de água, deve-se considerar uma redução maior. O valor de $CEe_{100\%}$ também é fornecido na Tabela 13 para diferentes culturas.

Tabela 13. Valores críticos de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS m^{-1}) conforme a porcentagem de redução esperada de produtividade.

Cultura	Redução relativa de produtividade (%)				
	0	10	25	50	100
Abacate	1,3	1,8	2,5	3,7	6,0
Abóbora	2,5	3,3	4,4	6,3	10,0
Aipo	1,8	3,4	5,8	9,9	18,0
Alface	1,3	2,1	3,2	5,1	9,0
Alho	1,7	2,7	4,2	6,7	11,7
Banana	1,1	2,3	4,2	7,2	13,3
Batata	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Batata-doce	1,5	2,4	3,8	6,0	11,0
Beterraba	4,0	5,1	6,8	9,6	15,0
Brócolis	2,8	3,9	5,5	8,2	14,0
Cebola	1,2	1,8	2,8	4,3	7,4
Cenoura	1,0	1,7	2,8	4,6	8,1
Citros	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Espinafre	2,0	3,3	5,3	8,6	15,0
Feijão-vagem	1,0	1,5	2,3	3,6	6,3
Goiaba	4,7	5,7	7,3	9,8	14,9
Laranja	1,3	2,1	3,2	5,1	8,9
Limão	1,5	2,3	3,5	5,4	9,3
Melancia	2,2	3,6	5,7	9,1	16,0
Melão	2,2	3,6	5,7	9,1	16,0
Morango	1,0	1,3	1,8	2,5	4,0
Nabo	0,9	2,0	3,7	6,5	12,0
Pepino	2,5	3,3	4,4	6,3	10,0
Pimentão	1,5	2,2	3,3	5,1	8,6

Rabanete	1,2	2,0	3,1	5,0	8,9
Repolho	1,8	2,8	4,4	7,0	12,0
Tomate	2,5	3,5	5,0	7,6	13,0
Uva	1,5	2,5	4,1	6,7	12,0

Fonte: Ayers e Westcot (1991) e Hoffman e Shalhevet (2007).

Entre outras estratégias para prevenir ou minimizar problemas de salinidade, estão a adoção de práticas que aumentem a infiltração e a percolação e que reduzam a evaporação de água do solo, o uso de sistemas por gotejamento e sulco, em detrimento da aspersão, e a seleção de cultivares mais adaptadas aos níveis de salinidade existentes.

Maiores informações sobre qualidade da água e estratégias de controle de salinidade em áreas irrigadas podem ser obtidas em Ayers e Westcot (1991), Gueyi et al. (2004), Hoffman e Shalhevet (2007) e Rhoades e Loveday (1990).

Aumento da eficiência do uso de água pelas plantas

A eficiência do uso de água pelas plantas é normalmente definida como sendo a produção comercial por unidade de água efetivamente utilizada pela cultura na forma de evapotranspiração (JENSEN, 2007). Assim, todas as estratégias e práticas de cultivo capazes de aumentar a produtividade da cultura e/ou reduzir a ETc podem ser utilizadas para aumentar a eficiência do uso de água pelas plantas.

O aumento de produtividade pode ser atingido, por exemplo, com a simples escolha de uma cultivar mais produtiva ou adaptada às condições locais de cultivo, além da melhoria das práticas de cultivo, como a adequação do espaçamento entre plantas, da adubação, da irrigação e dos tratos fitossanitários.

Já a diminuição da ETc pode ser alcançada reduzindo-se a evaporação das superfícies molhadas (do solo e da planta) e a transpiração. A redução da evaporação de água do dossel vegetal pode ser feita aumentando-se o intervalo entre irrigações ou substituindo-se o sistema de aspersão por outro que não molhe a parte aérea das plantas.

A redução das perdas de água por evaporação pode ser obtida de diferentes formas, com destaque para a adoção de sistemas de irrigação localizada ou subsuperficial, o uso de palhada ou plástico para a cobertura da superfície do solo, e o aumento do intervalo entre irrigações. Nos dois primeiros casos, podem-se reduzir as perdas de água por evaporação da ordem de 50% a 80%, o que representa uma redução entre 10% e 30% da ETc (ALLEN et al., 1998).

Por irrigar de forma localizada, sem molhar toda a superfície do solo, os sistemas de gotejamento e microaspersão minimizam as perdas de água por evaporação, que podem diminuir em até 80%, durante o estádio inicial da cultura (MANTOVANI et al., 2006). No caso de fruteiras jovens, a redução pode ser ainda maior. Para algumas culturas, segundo Lamont Junior et al. (2007), a conversão de sistemas por aspersão para gotejamento pode reduzir o uso global de água em até 50%. De modo geral, a redução da ETc somente em razão da redução de perdas associadas à evaporação

varia entre 20% e 40%. Comparativamente ao gotejamento superficial, a economia de água no gotejamento subterrâneo é da ordem de 10% a 15% basicamente em virtude da menor evaporação (ALLEN et al., 1998; CAMP, 1998; SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI et al., 2002).

Conforme mencionado, algumas práticas de cultivo, como a cobertura do solo com plástico e palhada e o sistema de plantio direto na palhada, também podem contribuir para reduzir as perdas de água por evaporação. Assim, tais práticas têm efeito direto sobre os valores de Kc, principalmente durante o estádio inicial de desenvolvimento da cultura.

A cobertura do solo com filme plástico não transparente, geralmente polietileno preto, é uma prática que vem sendo utilizada na produção agrícola, principalmente de hortaliças, sendo geralmente associada à irrigação por gotejamento. O plástico é colocado sobre a superfície do solo, ao longo da fileira de plantas, que são transplantadas em pequenos furos no plástico. Dependendo da fração de cobertura do solo, o uso de plástico pode reduzir a evaporação de água entre 50% e 80% (ALLEN et al., 1998). Assim, segundo Allen et al. (2007), os valores de Kc em áreas cobertas com plástico decrescem em média 30% durante o estádio vegetativo e 10% durante o estádio de produção, sendo os valores de Kc_{ini} geralmente da ordem de 0,10.

Entre as muitas vantagens que oferece o sistema de plantio direto na palhada ou a simples cobertura do solo com palha está a significativa redução da quantidade de água utilizada para a irrigação das culturas. A maior conservação de água deve-se, majoritariamente, à palhada sobre a superfície do solo, que reduz a

evaporação. A economia de água é maior durante os estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, principalmente em culturas com menor capacidade de cobertura do solo (STONE; MOREIRA, 2000). Segundo Allen et al. (1998), para uma condição com 50% de cobertura do solo pela palhada, os valores de Kc durante o estádio inicial (Kc_{ini}) podem ser reduzidos em 25% e, durante o estádio de produção (Kc_{pro}), entre 5% e 10%. Marouelli et al. (2008b, 2009) verificaram redução entre 10% e 25% do consumo de água de irrigação em sistema de plantio direto de hortaliças.

A redução da transpiração da cultura pode ser alcançada por meio de estratégias que aumentem a resistência estomática ou aerodinâmica das plantas, muitas vezes sem o comprometimento da produção. A resistência estomática pode ser aumentada, por exemplo, com a aplicação de deficit hídrico controlado e o uso de práticas de sombreamento ou molhamento parcial do sistema radicular. O uso de quebra-vento e o cultivo em ambiente protegido promovem a redução da circulação de ar no ambiente cultivado.

Vários estudos têm sido realizados na área de regulação do deficit hídrico (COELHO FILHO et al., 2006; DOMINGO et al., 1996; GONZÁLEZ-ALTOZANO; CASTEL, 2000), que consiste na aplicação de deficit controlado durante estádios ou períodos específicos da cultura. Além de definir períodos menos sensíveis, essa técnica permite determinar intensidades de deficit hídrico que tenham pequeno efeito sobre a produtividade e a qualidade da produção. Nos demais períodos, as irrigações devem ser realizadas sem deficit. Assim, pode-se alcançar redução significativa do volume de água aplicada, com insignificantes prejuízos à produção.

Tem-se observado que a produtividade e a qualidade de frutos em fruteiras arbóreas são muito afetadas pelo manejo de água durante os períodos de floração, pegamento e crescimento de frutos. Dependendo da magnitude do deficit hídrico a que as plantas são submetidas, os níveis de abscisão de flores e frutos e o tamanho de fruto podem ser consideravelmente afetados (DOMINGO et al., 1996). Para tangerina e limão ‘Tahiti’, Coelho Filho et al. (2006) e González-Altozano e Castel (2000) verificaram, repetitivamente, que o uso da estratégia de regulação do deficit é mais apropriado durante o período de crescimento de fruto e que o período mais crítico à ocorrência de deficit hídrico é durante a floração e formação inicial de fruto.

Embora as hortaliças sejam, em geral, sensíveis à deficiência de água no solo, o manejo com regulação do deficit hídrico em estádios de desenvolvimento específicos não prejudica a produção de algumas espécies. Existem casos em que o manejo com deficit hídrico é decisivo para a obtenção de produtividades mais elevadas e produtos de melhor qualidade.

Nas condições de cerrado do Brasil Central, Marouelli et al. (1991a) verificaram incremento de 20% na produtividade de ervilha-seca, além de melhor qualidade de grãos, quando as irrigações durante os estádios vegetativo e de produção foram realizadas somente quando a tensão de água no solo atingiu 200 kPa, comparativamente à condição sem deficit hídrico (25 kPa). Segundo os autores, sob irrigação sem deficit hídrico, as plantas vegetaram de forma luxuriante, em detrimento da produção de grãos, além de ficarem mais sujeitas a doenças. Para lentilha, Saraf e Baitha (1985) também verificaram resultados semelhantes, com indicativo de tensão crítica entre 200 kPa e 400 kPa.

No caso do cultivo do tomateiro industrial sob irrigação por aspersão, Marouelli et al. (1991b) verificaram não ter ocorrido redução significativa de produtividade para irrigações realizadas durante os estádios vegetativo e de maturação, considerando-se a tensão de água no solo de até 460 kPa. Durante o estádio de produção, maior produtividade foi obtida para a condição sem deficit hídrico (30 kPa). Quanto à qualidade, plantas submetidas a deficit hídrico durante o estádio de maturação apresentaram frutos com maior teor de sólidos solúveis totais. O menor desenvolvimento das plantas submetidas a deficit hídrico durante o estádio vegetativo foi compensado por uma menor incidência de doenças foliares. O maior intervalo entre irrigações durante o estádio de maturação também possibilitou menor incidência de doenças foliares e apodrecimento de frutos.

Na técnica de molhamento parcial do sistema radicular, desenvolvida na Austrália para fruteiras (LOVEYS et al., 2000), a irrigação é aplicada em regime de alta frequência durante um determinado período de tempo, de cada lado das fileiras de plantas. O secamento do solo induz parte das raízes a produzir ácido abscísico, que é levado às folhas provocando a redução da abertura estomática e, consequentemente, a redução da taxa de transpiração, sem que a planta manifeste sintomas acentuados de estresse. Tal estratégia tem sido avaliada em diversos estudos (GU et al., 2000; KANG et al., 2002; SOUZA et al., 2004; STOLL et al., 2000), que indicam relevante redução da ETc, com aumento de até 80% na eficiência de uso de água e pequena redução de produtividade.

Estudo realizado por Coelho et al. (2009) com limão ‘Tahiti’, na região norte de Minas Gerais, indicou não haver redução

significativa da produtividade de limão, quando aplicada a técnica de molhamento parcial do sistema radicular, com 50% de redução da lâmina de irrigação e alternância de 7, 14 e 21 dias do lado molhado da fileira de plantas, comparada ao manejo convencional de água sem deficit (Figura 10). Resultados semelhantes também foram observados por Daniel et al. (2009), na região semiárida do Vale do Paraguaçu, Bahia, para mangueira, cultivar Kent. Os resultados para as culturas do limão e da manga, nas condições brasileiras, estão de acordo com resultados apresentados na literatura internacional e indicam que o molhamento parcial do sistema radicular, com alternância dos lados de até 21 dias e aplicação de 50% da ETc, resulta em pequena redução de produtividade, comparado à condição totalmente irrigada.

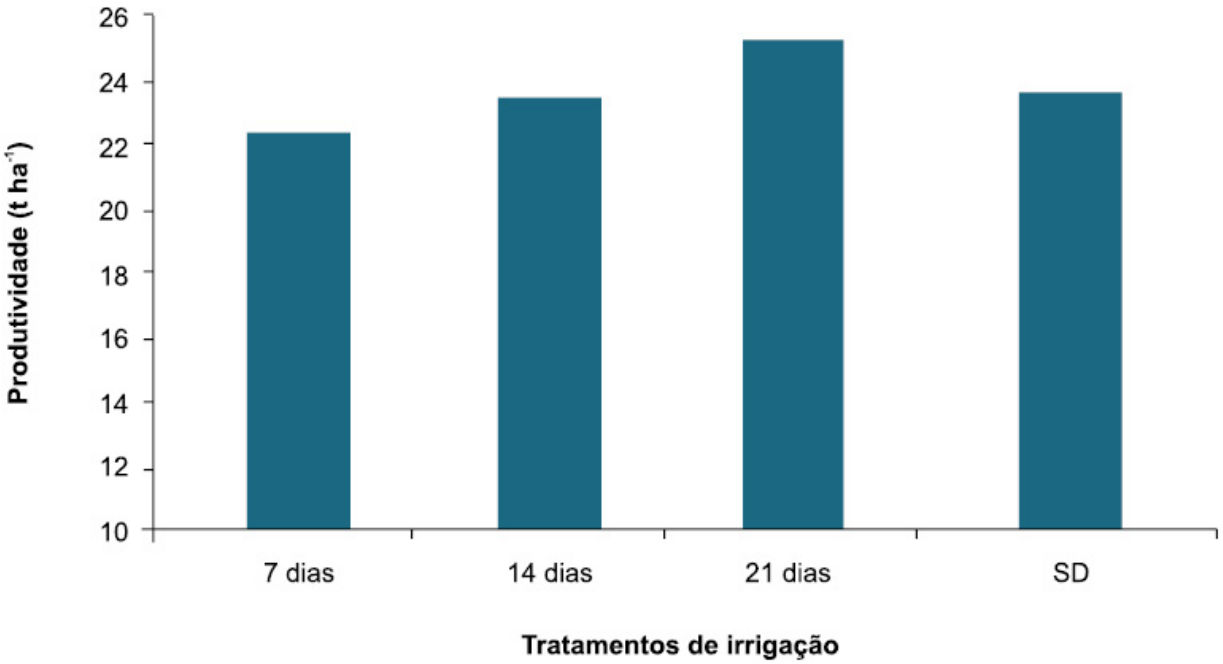


Figura 10. Variação não significativa (p > 0,05) de produtividade de limão 'Tahiti' irrigado com a técnica de molhamento parcial do sistema radicular, com alternância do lado molhado das plantas aos 7, 14 e 21 dias e redução de 50% na lâmina de irrigação, comparativamente ao sistema tradicional de irrigação sem deficit hídrico (SD), na região norte de Minas Gerais.

Fonte: Coelho et al. (2009).

De grande importância para reduzir o desperdício de água na agricultura irrigada e, portanto, aumentar a eficiência global do uso de água na irrigação, são os cuidados na manutenção e avaliação periódica dos sistemas de irrigação, de forma que não apresentem problemas de vazamentos e apliquem água o mais uniformemente possível (MANTOVANI et al., 2006). A implantação de um programa de manutenção preventiva e corretiva é fundamental para que o sistema se mantenha em condições de funcionamento adequado. O entupimento de emissores é, sem dúvida, o principal problema a ser considerado num programa de manutenção do sistema de irrigação por gotejamento.

Tempo de irrigação

O tempo de irrigação para que seja aplicada a lâmina de água necessária em sistemas de irrigação por aspersão e localizada (gotejamento e microaspersão) depende da capacidade e eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação. Para sistema por sulco, o tempo de irrigação depende basicamente da capacidade de infiltração de água no solo e do comprimento do sulco. Havendo risco de salinização do solo, o tempo de irrigação também deve ser suficiente para a aplicação da fração de lixiviação.

Irrigação por aspersão

Antes de calcular o tempo de irrigação, é necessário corrigir o valor inicialmente calculado da lâmina de água real necessária (LRN), de forma a contemplar a desuniformidade na aplicação de água do sistema de irrigação e, quando necessário, a fração de lixiviação de sais. A lâmina total de água a ser aplicada por irrigação é determinada pela equação 31:

$$LTN = \frac{LRN}{Ea \times \left(1 - LR\right)} \quad (31)$$

em que *LTN* é a lâmina total de água a ser aplicada por irrigação (mm) e *Ea* a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (decimal).

Quando a fração de lixiviação calculada for menor que 10%, as perdas de água por percolação associadas à ineficiência dos sistemas de irrigação são comumente suficientes para proporcionar a lixiviação dos sais. Nesse caso, a LR pode ser assumida como 0 e não ser levada em consideração no cálculo da lâmina total de água a ser aplicada.

Na irrigação por aspersão, a eficiência de aplicação de água é determinada pela equação 32 em razão da uniformidade de distribuição de água e das perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento:

$$Ea = CUC \times (1 - P_{e/v}) \quad (32)$$

em que CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (decimal) e $P_{e/v}$ a perda combinada de água por evaporação e arrastamento pelo vento (decimal).

As perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento na aspersão podem ser estimadas em razão da velocidade do vento, da *ETo* e do tamanho de gotas, utilizando-se a Tabela 14.

Tabela 14. Fração de perdas combinadas de água por evaporação e arrastamento pelo vento na irrigação por aspersão, conforme o nível de fragmentação das gotas de água, velocidade do vento e evapotranspiração de referência.

ETo (mm dia^{-1})	Gotas pouco fragmentadas			Gotas muito fragmentadas		
	1 m s^{-1}	3 m s^{-1}	5 m s^{-1}	1 m s^{-1}	3 m s^{-1}	5 m s^{-1}
2	0,02	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08
4	0,02	0,03	0,04	0,05	0,08	0,10
6	0,02	0,03	0,04	0,06	0,09	0,12
8	0,02	0,04	0,05	0,07	0,11	0,14
10	0,03	0,04	0,05	0,08	0,13	0,16
12	0,03	0,05	0,06	0,09	0,14	0,18

Fonte: adaptado de Bernardo et al. (2005).

Valores típicos de eficiência de aplicação, para sistemas de irrigação por aspersão com dimensionamento e programa de manutenção minimamente aceitáveis, variam de 65% a 80% para sistemas convencionais, de 60% a 75% para autopropelido, e de 75% a 90% para pivô central. Na prática, é comum encontrar sistemas operando com eficiência muito abaixo do aceitável. Assim, a avaliação da eficiência de aplicação deve ser realizada, no mínimo, a cada dois anos, de forma a corrigir problemas que prejudicam o desempenho do sistema.

Nos sistemas convencionais, o tempo de irrigação necessário para aplicar a lâmina total de irrigação é determinado utilizando-se a equação 33:

(33)

$$Ti = \frac{LTN}{I_a}$$

em que Ti é o tempo de irrigação (h) e I_a é a intensidade de aplicação de água do sistema (mm h^{-1}).

Para pivô central e autopropelido, deve ser selecionada a velocidade de deslocamento necessária para que o sistema aplique uma lâmina igual ou ligeiramente superior à LTN. Para isso, deve-se usar a tabela de intensidades de aplicação versus velocidade de deslocamento do equipamento, fornecida pelo fabricante, ou dados resultantes da avaliação de campo de vazão e de uniformidade de aplicação de água do sistema.

Irrigação localizada

Na irrigação localizada, mesmo quando manejada de forma adequada, ocorrem perdas não controláveis de água por percolação profunda (P_{pp}), especialmente quando as irrigações são realizadas em regime de alta frequência. Dependendo da fração de lixiviação calculada, essas perdas incontroláveis podem ser suficientes para proporcionar a lixiviação dos sais. Segundo Bernardo et al. (2005), a lâmina total de água a ser aplicada pode ser calculada considerando-se as situações descritas pelas equações 34 e 35:

Se $LR < 0{,}10$ ou $P_{pp} \geq LR$

$$LTN = \frac{LRN}{Eu \times \left(1 - P_{pp}\right)} \qquad (34)$$

Se $LR \geq 0{,}10$ ou $P_{pp} < LR$

$$LTN = \frac{LRN}{Eu \times \left(1 - LR\right)} \quad (35)$$

A uniformidade de emissão é calculada utilizando-se a equação 36:

$$Eu = \frac{\overline{q}_{25\%}}{\overline{q}_{100\%}} \quad (36)$$

em que $\overline{q}_{25\%}$ é a média das 25% menores vazões medidas e $\overline{q}_{100\%}$ a média das vazões de todos os gotejadores.

As perdas de água por percolação profunda não controlável são função, principalmente, do tipo de solo e profundidade do sistema radicular da cultura, podendo ser estimadas utilizando-se valores apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Fração de perdas de água por percolação profunda não controlável na irrigação localizada, quando realizada em regime de alta frequência, conforme a textura do solo e a profundidade do sistema radicular da cultura.

Profundidade de raízes (m)	Muito grossa	Grossa	Média	Fina
< 0,8	0,10	0,10	0,05	0,00
0,8–1,5	0,10	0,05	0,00	0,00
> 1,5	0,05	0,00	0,00	0,00

Fonte: Bernardo et al. (2005).

Valores típicos de uniformidade de emissão para sistemas por gotejamento variam entre 65% e 90% e, para microaspersão, entre 65% e 85%. Todavia, é comum observarem-se em campo sistemas com uniformidade abaixo de 50% em virtude de problemas de

dimensionamento inadequado, equipamento de baixa qualidade, falta de manutenção e, principalmente, entupimento.

Utilizando-se a equação 37, pode-se calcular o tempo de irrigação para aplicar a LTN em sistemas localizados:

$$Ti = \frac{LTN \times E_1 \times E_e}{Q_e} \quad (37)$$

em que E_l é o espaçamento entre linhas de emissores (m), E_e o espaçamento entre emissores (m) e Q_e a vazão do emissor (L h^{-1}).

Na irrigação de fruteiras, é comum usar mais de um emissor por planta, principalmente gotejador. Nesse caso, para utilizar a equação 37, deve-se considerar E_e como sendo igual ao espaçamento entre plantas ao longo da fileira e V_e como o somatório das vazões de todos os emissores colocados por planta.

O volume de água a ser aplicado por planta para atender à demanda de irrigação é calculado pela equação 38:

$$V_{pl} = LTN \times S_p \times S_{LP} \quad (38)$$

em que V_{pl} é o volume de água a ser aplicado por planta a cada irrigação (L), S_p o espaçamento entre plantas (m) e S_{LP} o espaçamento entre linhas de plantas (m).

Irrigação por sulco

Para irrigação por sulco, o tempo de irrigação deve ser igual ao tempo de avanço para a água chegar ao final do sulco mais o tempo de oportunidade necessário para aplicar a lâmina total de água (LTN). O comprimento do sulco e a velocidade de infiltração de água dependem do tipo de solo, devendo ser avaliados em testes de campo (BERNARDO et al., 2005). Nesse caso, a LTN a ser aplicada no final do sulco é determinada adotando-se a equação 39:

$$LTN = \frac{LRN}{1 - LR} \quad (39)$$

Da mesma forma que mencionado para irrigação por aspersão, deve-se considerar LR igual a 0 quando o valor calculado de LR for menor que 0,10 (sem risco de salinização).

Horário de irrigar

De modo geral, o horário da irrigação tem influência limitada sobre o rendimento da grande maioria das culturas. No entanto, alguns fatores operacionais, econômicos, climáticos e agronômicos podem limitar ou favorecer o uso da irrigação durante alguns períodos do dia.

No caso da aspersão, irrigações realizadas durante períodos de ventos intensos, baixa umidade relativa e temperatura elevada do ar, além de favorecerem maior perda de água por evaporação, prejudicam demasiadamente a distribuição de água na lavoura, afetando negativamente a produtividade da cultura. Segundo

Bernardo et al. (2005), as perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento na irrigação por aspersão podem ultrapassar 10% para ventos a partir de 3 m s^{-1} e ETo a partir de 8 mm dia^{-1} (Tabela 14). A uniformidade de distribuição de água é severamente afetada com o aumento da velocidade do vento. Segundo Cuenca (1989), um coeficiente de uniformidade de 80%, para uma condição com vento de 1 m s^{-1}, é reduzido a 65% quando a velocidade aumenta para 2 m s^{-1} e a para menos de 40% quando a velocidade atinge 4 m s^{-1}. Nesse aspecto, as irrigações por aspersão devem ser realizadas preferencialmente em horários sem vento ou de baixa intensidade, menor temperatura e alta umidade relativa do ar. Tais condições muitas vezes são encontradas nas primeiras horas da manhã, no final da tarde ou à noite.

Ainda no caso da aspersão, o horário da irrigação pode afetar a incidência e a severidade de algumas doenças da parte aérea, especialmente em hortaliças como a batata, o tomate e o pimentão. Visando minimizar tal risco, principalmente em regiões sujeitas à formação de orvalho, as regas por aspersão devem ser realizadas, preferencialmente, depois das primeiras horas da manhã e antes das últimas horas da tarde, a fim de reduzir o tempo em que a água permanece livre sobre a folha, favorecendo a maioria dos fungos e bactérias. No entanto, se for comum a ocorrência de orvalho durante a noite, as irrigações podem ser coincidentes com o período de orvalho, não havendo, assim, o efeito aditivo do tempo de molhamento causado pela irrigação e pelo orvalho (LOPES et al., 2006). Irrigações diurnas em regiões ou épocas do ano em que não há ocorrência de orvalho são mais apropriadas do ponto de vista operacional da propriedade agrícola, mesmo no caso de patógenos que produzem esporos que são liberados durante o dia. Desde que

não sejam realizadas no final da tarde, haverá tempo para que as folhas e as hastes sequem antes do entardecer (MAROUELLI et al., 2008c).

Irrigações por aspersão, especialmente durante as primeiras horas do dia, podem interferir negativamente na polinização e no pegamento de frutos de algumas espécies, pois prejudicam a atividade de abelhas e de outros insetos polinizadores (DIAS, 2005; OHIO STATE UNIVERSITY, 2009). A aplicação de água por aspersão e a ocorrência de chuvas durante o período em que as flores permanecem abertas podem também, como no caso do maracujazeiro-amarelo, reduzir a disponibilidade e a viabilidade de grãos de pólen, prejudicando a polinização.

Os sistemas por gotejamento e superfície (sulco) têm insignificante efeito no molhamento da parte aérea das plantas, pois aplicam água diretamente no solo e praticamente não são afetados pelas condições climáticas. Assim, com base nesses dois fatores, as irrigações podem ser realizadas em qualquer horário.

Alguns fatores operacionais podem ser determinantes na decisão do horário da irrigação. Sistemas de irrigação com capacidade limitada para atender a toda a área irrigada não permitem ao produtor muita flexibilidade para definir horários de irrigar. É comum, durante períodos de alta demanda de evapotranspiração, que sistemas de irrigação tenham de permanecer em operação ininterruptamente, dia após dia. Isso ocorre, principalmente, com sistemas tipo pivô central subdimensionados, que, mesmo ligados 24 horas por dia, são, muitas vezes, incapazes de suprir a demanda total de água da cultura.

Sistemas de irrigação fixos, como o gotejamento, e mecanizados, como o pivô central, podem irrigar durante a noite sem nenhum problema. No entanto, sistemas por sulco e aspersão convencional portátil e semiportátil, entre outros que demandam uso intensivo de mão de obra, são pouco apropriados para serem operados durante a noite.

Outro fator que pode ser decisivo na escolha do horário da irrigação é o custo da tarifa de energia elétrica. Existe uma tarifação reduzida para irrigar durante a noite, geralmente das 21h30 às 6h, com descontos que podem chegar a 90%. Para ter direito à tarifa reduzida, o produtor deve dirigir-se ao escritório da companhia elétrica local e aderir, por contrato, ao programa. Além de uma considerável redução de custos, a opção pela irrigação à noite dá mais tempo, durante o período diurno, e flexibilidade ao agricultor para realizar os tratos culturais necessários ao bom desenvolvimento da cultura. Entretanto, dependendo do dimensionamento do sistema de irrigação e da quantidade de horas planejadas para funcionamento por dia, poderá ser necessário complementar a irrigação da área em horários com outros valores de tarifação.

Para Talens (1998), algumas espécies de plantas podem ter problema de escaldadura por calor úmido quando se irriga nos horários mais quentes do dia, entre as 11h e as 16h, que coincidem com o período de máxima exigência hídrica das plantas. No Brasil, o problema não tem sido verificado na maioria das regiões produtoras de frutas e hortaliças.

Há condições, no entanto, em que a irrigação em horários muito quentes pode ser benéfica para amenizar o ambiente da cultura.

Algumas espécies de plantas perdem temporariamente a turgescência mesmo quando a umidade do solo encontra-se próxima à capacidade de campo. Isso ocorre em razão da incapacidade das raízes de suprir a demanda evaporativa da atmosfera. A irrigação por aspersão durante breves períodos é capaz de amenizar o estresse hídrico; porém, ainda não há estudos sobre a resposta de incrementos de produtividade das culturas. Uma situação prática em que se adota essa estratégia é durante o estádio de pré-colheita de hortaliças folhosas, sem causar escaldadura de folhas. Segundo Callegari et al. (2001), quando plantas de alface apresentam sintomas iniciais de perda de turgescência, já aconteceu perda de aproximadamente 25% de sua matéria fresca quando túrgidas.

Quando se faz necessário restringir o horário das irrigações, em razão de qualquer fator limitante, o sistema de irrigação deve ser dimensionado para ter o funcionamento apenas durante o número máximo de horas por dia disponível para operação da irrigação. Caso contrário, o produtor não terá flexibilidade para irrigar toda a área nos horários desejados.

Referências

AHUJA, L.R.; NIELSEN, D.R. Field soil-water relations. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 143-190. (Agronomy, 30).

ALBUQUERQUE, P. E. P. Estratégias de manejo de irrigação. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 449-486.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 56).

ALLEN, R. G.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W. O.; PEREIRA, L. S.; JENSEN, M. E. Water requirements. In: HOFFMAN, G. J.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOTT, R. L. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. 2. ed. Saint Joseph: ASABE, 2007. p. 208-288.

ANDRADE, C. L. T.; BORES JÚNIOR, J. C. F.; COUTO, L. Características físico-hídricas e dinâmica de água no solo. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O.M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 71-149.

ATKINSON, D.; MACKIE-DAWSON, L. A. Root growth: methods of measurement. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. (Ed.). **Soil analysis**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 447-509.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A água na agricultura**. Roma, IT: FAO, 1991. 218 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

BATAL, K.M.; SMITTLE, D.A. Response of bell pepper to irrigation, nitrogen, and plant population. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v.106, n. 3, p. 259-262, 1981.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

BOSCH SERRA, A.D.; CURRAH, L. Agronomy of onions. In: RABINOWITCH, H.D.; CURRAH, L. (Ed.). **Allium crop science**: recent advances. Wallingford: CABI, 2002. p. 187-232.

BRONER, I. **Irrigation scheduling**. Fort Collins: Colorado State University Cooperative Extension, 1993. 2 p. (Crop Series, 4.708).

CALBO, A. G. **Gas irrigation control system based on soil moisture determination through porous capsules**. US Patent 6705542B2, 30 aug. 2001, 16 mar. 2004.

CALBO, A. G. **Sistema de controle gasoso de irrigação baseado na determinação de umidade do solo por meio de cápsulas porosas**. Patente BR PI 0004264-1, 30 ago. 2000, 2 abr. 2002.

CALBO, A. G.; SILVA, H. R.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Manejo de irrigação com sensores de cápsula porosa permeados por ar – IRRIGAS®. In: TALLER INTERNACIONAL RED RIEGOS CYTED, 2008, Florianópolis. [**Anais**]... Florianópolis: CYTED: PROCISUR, 2008. 12 p. 1 CD-ROM.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C. Gaseous irrigation control system: descriptions and physical tests for performance assessment. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 501-510, 2006.

CALLEGARI, O.; SANTOS, H. S.; SCAPIM, C. A. Variações do ambiente e de práticas culturais na formação de mudas e na produtividade da alface (*Lactuca sativa* L. cv. Elisa). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1117-1122, 2001.

CAMP, C. R. Subsurface drip irrigation: a review. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 41, n. 5, p. 1353-1367, 1998.

CAMPBELL, G.S.; MULLA, D.J. Measurement of soil water content and potential. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 127-142. (Agronomy, 30).

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; SILVA, W. L. C. Produção de cebola sob diferentes regimes de umidade no solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 8, n. 1, 1990. Resumo.

CHARTZOULAKIS, K.; PATAKAS, A.; KOFIDIS, G.; BOSABALIDIS, A.; NASTOU, A. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars.

Scientia Horticulturae, Amsterdam, NL, v. 95, n. 1/2, p. 39-50, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. Como obter a sustentabilidade dos recursos hídricos na agricultura irrigada? **Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, v. 64, p. 30-31, 2004.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L.; COSTA, E. L. Uso regulado do déficit de irrigação nas fases de crescimento de frutos de lima ácida Tahiti irrigado por gotejamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **Anais**... Goiânia: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2006. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; NASCIMENTO JUNIOR, A. L. Molhamento parcial do sistema radicular do limoeiro em condições semi-áridas do Norte de Minas. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 19., 2009, Montes Claros. **Anais**... Montes Claros: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2009. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F.; AGUIAR NETTO, A. O. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 40).

CRESTANA, S.; GUIMARÀES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 18, n. 3, p. 365-371, 1994.

CUENCA, R. H. **Irrigation system design**: an engineering approach. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989. 552 p.

CULLEN, P. The journey to sustainable irrigation. In: IRRIGATION ASSOCIATION OF AUSTRALIA ANNUAL CONFERENCE, 2004, Adelaide. **Proceedings**… Sydney: Irrigation

Association of Australia, 2004. Disponível em: <www.thinkers.sa.gov.au/lib/pdf/Cullen_Irrigation_Conf.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2010.

DANIEL, R.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SANTANA JUNIOR, E. B. Qualidade quimica de frutos da mangueira sob manejo de Irrigação utilizando o método MPSR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 38., 2009, Juazeiro/Petrolina. **Planejamento da bacia hidrográfica e o desenvolvimento da agricultura**: anais. Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2009. 1 CD-ROM.

DIAS, D. C. F. S. Maturação de sementes de hortaliças. In: CURSO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE HORTALIÇAS, 5., 2005, Brasília, DF. **Palestras**... Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2005. 1 CD-ROM.

DOMINGO, R.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; TORRECILLAS, A. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. **Irrigation Science**, New York, v. 16, p. 115-123, 1996.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome, IT: FAO, 1986. 193 p. (FAO.

Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome, IT: FAO, 1977. 144 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

ENCISO, J. M.; PORTER, D.; PÉRIÈS, X. **Irrigation monitoring with soil water sensors**. College Station: Texas Cooperative Extension: Texas A&M University, 2007. 12 p. (B-6194).

EVETT, S. R. Soil water and monitoring technology. In: LASCANO, R. J.; SOJKA, R. E. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. 2nd ed. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2007. p. 25-84. (Agronomy Monograph, 30).

FARES, A.; ALVA, A. K. Evaluation of capacitance probes for optimal irrigation of citrus through soil moisture monitoring in an entisol profile. **Irrigation Science**, New York, v. 19, p. 57-64, 2000.

FARIA, R. T.; COSTA, A. C. S. **Tensiômetro**: construção, instalação e utilização. Londrina: Iapar, 1987. 24 p. (Circular Técnica, 56).

FERERES, E. Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación: recomendaciones para el manejo mejorado. In: SEMINARIO LATINOAMERICANO DE MICROIRRIGACIÓN, 4., 1981, Barquisimeto. **Anais**... Barquisimeto: IICA, 1981. p. 1-23.

FERREIRA, M. N. L. **Distribuição radicular e consumo de água de goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada por microaspersão em Petrolina, PE**. 2004. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 288-291,

1980.

GOMIDE, R. L.; MAENO, P. Requerimento de água pelas culturas. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 225-253.

GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; CASTEL, J. R. Effects of regulated deficit irrigation on 'Clementina

de Nules' citrus trees growth, yield and fruit quality. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 537, p. 749-758, 2000.

GU, S. L.; DAVID, Z.; SIMON, G.; GREG, J. **Effect of partial root zone drying on vine water relations, vegetative growth, mineral nutrition, yield, and fruit quality in field-grown mature sauvignon blanc grapevines**. Fresno: California Agricultural Technology Institute: California State University, 2000. (Research Notes, 702).

GUEYI, H. R.; LUZ, M. J. S.; BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G. Qualidade da água para fins de irrigação. In: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. J. (Ed.). **Irrigação e drenagem na empresa agrícola**: impacto ambiental versus sustentabilidade. Aracaju: Embrapa Algodão, 2004. p. 331-377.

GUROVICH, L. A. Irrigation scheduling of table grape cultivars in Chile. In: CAMP, C. R.; SADLER, E. J.; YODER, R. E. (Ed.). **Evapotranspiration and irrigation scheduling**. San Antonio: ASAE, 1996. p. 335-340.

HAISE, H. R.; HAGAN, R. M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria of scheduling irrigation. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. (Ed.). **Irrigation of agricultural lands**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 577-604. (Agronomy Series, 11).

HANSON, B. R. Error in using historical reference crop evapotranspiration for irrigation scheduling. In: EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION SCHEDULING, 1996, San Antonio. **Proceedings**... San Antonio: ASAE: Irrigation Association: International Commission on Irrigation and Drainage, 1996. p. 220-224.

HATFIELD, J. L.; SNYDER, R. L. Infrared thermometers. In: GOLDHAMER, D. A.; SNYDER, R. L. (Ed.). **Irrigation scheduling**: a guide for efficient on-farm water management. Oakland: DARN: University of California, 1989. p. 21-20.

HEERMANN, D. F.; MARTIN, D. L.; JACKSON, R. D.; STEGMAN, E. C. Irrigation scheduling controls and techniques. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 509-535. (Agronomy, 30).

HIDROSENSE. **Irrigação na medida certa**: linha digital. Disponível em: <http://www.hidrosense.com.br/produtos_mdi.html>. Acesso em: 12 fev. 2010.

HOFFMAN, G. J.; SHALHEVET, J. Controlling salinity. In: HOFFMAN, G. J.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOTT, R. L. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. 2nd ed. Saint Joseph: ASABE, 2007. p. 160-207.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; PINTER JUNIOR, P. J.; REGINATO, R. J.; HATFIELD, J. L. Normalizing the stress degree day for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, NL, v. 24, p. 45-55, 1981.

IRRIGATION on western farms. Washington, DC: Soil Conservation Service, 1959. 53 p. (Agricultural Information Bulletin, 199).

JACKSON, R. D.; IDSO, S. B.; REGINATO, R. J.; PINTER JUNIOR, P. J. Canopy temperature as crop water stress indicator. **Water Resource Research**, Washington, DC, v. 17, n. 4, p. 1133-1138, 1981.

JENSEN, M. E. Sustainable and productive irrigated agriculture. In: HOFFMAN, G. J.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOTT, R. L. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. 2nd ed. Saint Joseph: ASABE, 2007. p. 33-56.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 332 p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 70).

JONES, H. G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls on plant-based methods. **Journal of Experimental Botany**, London, GB, v. 55, n. 407, p. 2427-2436, 2004.

KANG, S. Z.; HU, X. T.; GOODWIN, I.; JIRIE, P.; ZHANG, J. Soil water distribution, water use and yield response to partial root zone drying under flood-irrigation condition in a pear orchard. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, NL, v. 92, p. 277–291, 2002.

KANISZEWSKI, S.; RUMPEL, J. Effects of irrigation, nitrogen fertilization and soil type on yield and quality of cauliflower. **Journal of Vegetable Crop Production**, Calhoun, v. 4, p. 67-75, 1998.

KELLER, J. **Trickle irrigation**: section 15-7: national engineering handbook. Glendora: Soil Conservation Service: USDA, 1978. 129 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: VanNostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KONGYAN, Y. Water-saving farming technologies. **New AG International**, Middlesex, p. 46-53, 2005.

LAMONT JUNIOR, W. J.; ORZOLEK, M. D.; HARPER, J. K.; JARRETT, A. R.; GREASER, G. L. **Drip irrigation for vegetable production**. Disponível em: <http://agalternatives.aers.psu.edu/Publications/DripIrrigation.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2007.

LASCANO, R. J. The soil-plant-atmosphere system and monitoring technology. In: LASCANO, R. J.; SOJKA, R. E. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. 2nd ed. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2007.

p. 85-115. (Agronomy Monograph, 30).

LIBARDI, P. L. **Potenciais da água no solo**. Piracicaba: ESALQ, 1993. 50 p. (Série Didática, 7).

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M. A. V. (Ed.). **O estado das águas no Brasil - 1999**: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Brasília, DF: Aneel: OMM: SRH-MMA, 1999. p. 73-82.

LOPES, C. A.; MAROUELLI, W. A.; CAFÉ FILHO, A. C. Associação da irrigação com doenças de hortaliças. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 14, p. 151-179, 2006.

LOPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. 2. ed. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1997. 405 p.

LOVEYS, B. R.; DRY, P. R.; STOLL, M.; MCCARTHY, M. G. Using plant physiology to improve the water efficiency of horticultural crops. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 537, p. 187-197, 2000.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e práticas. Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

MAROUELLI, W. A. Desenvolvimento de critério para manejo simplificado da irrigação em regiões áridas e semi-áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: SBEA: UFC, 2000. 3 p. 1 CD-ROM. Trabalho no 057.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. 15 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 57).

MAROUELLI, W. A.; ABDALLA, R. P.; MADEIRA, N. R.; Irrigação de cebola em sistema de plantio direto. **Revista de Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 17, n. 105, p. 7-9, 2008b.

MAROUELLI, W. A.; ABDALLA, R. P.; MADEIRA, N. R. Irrigação de repolho em sistema de plantio direto. **Revista de Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 19, n. 112, p. 32-34, 2009.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas**®. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 16 p. (Circular Técnica, 69).

MAROUELLI, W. A.; GIORDANO, L. B.; OLIVEIRA, C. A.; CARRIJO, O. A. Desenvolvimento, produção e qualidade da ervilha sob diferentes tensões de água no solo, em dois estádios da cultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 7, p. 1041-1047, 1991a.

MAROUELLI, W. A.; GUIMARÃES, T. G. **Irrigação na cultura da batata**. Itapetininga: Associação Brasileira da Batata: Embrapa Hortaliças, 2006. 66 p.

MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; GIORDANO, L. B. Paralisação das irrigações em cultivar precoce de ervilha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 12, p. 1769-1773, 1990.

MAROUELLI, W. A.; SANT'ANA, R. R.; SILVA, H. R. Economic evaluation of irrigation systems for processing tomato production in central Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2008, Iguassu Falls City. **Proceedings**... Iguassu Falls City: CIGR: SBEA: ASABE, 2008a. 1 CD-ROM.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; OLIVEIRA, C. A. S. Produção de tomate industrial sob diferentes regimes de umidade no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 9, p. 1531-1537, 1991b.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Parâmetros básicos para manejo de irrigação por aspersão em tomateiro para processamento na região do cerrado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2005, Teresina. **Anais**... Teresina: ABID, 2005. 1 CD-ROM.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A.; SILVA, H. R. Produção e qualidade de alho sob regimes de água no solo e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 2, p. 191-194, 2002a.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Desenvolvimento de plantas, produção e qualidade de bulbos de alho sob condições de deficiência de água no solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 3, p. 470-473, 2002b.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; OLIVEIRA, C. A. S.; SILVA, H. R. Resposta da cultura da batata a diferentes regimes de irrigação. **Revista Latinoamericana de la Papa**, Bogotá, DC, v. 1, n. 1, p. 25-34, 1988.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2008c. 150 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: EMBRAPA-CNPH, 1996. 72 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R.; VILELA, N. J. Eficiência econômica do manejo racional da irrigação em tomateiro para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 3, p. 238-243, 2000.

MARTIN, D. L.; GILLEY, J. R. **Irrigation water requirements**. Washington, DC: USDA: Soil Conservation Service, 1993. 284 p. (National Engineering Handbook, Part 623).

MAURER, A. R. Response of broccoli to five soil water regimes. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, CA, v. 56, p. 953-959, 1976.

MENZEL, C. M.; SIMPSON, D. R. Passionfruit. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC, 1994. v. 2, p. 225-241.

MONTENEGRO, A. A. T.; BEZERRA, F. M. L.; LIMA, R. N. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do mamoeiro para a região litorânea do Ceará. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 464-472, 2004.

NEJA, R. A.; WILDMAN, W. E.; AYERS, R. S.; KASIMATIS, A. N. Grapevine response to irrigation and trellis treatments in the Salinas Valley. **American Journal of Enology and Viticulture**, Reedley, v. 28, n. 1, p. 16-26, 1977.

OHIO STATE UNIVERSITY. **Vegetable seed production**: “dry” seeds. Disponível em: <http://extension.osu.edu/~seedsci/vsp02.html>. Acesso em: 18 abr. 2009.

OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; FACCIOLI, G. G. **Manejo básico da irrigação na produção de fruteiras**. Brasília, DF: LK, 2006. 136 p.

OSTER, J. D.; WICHELNS, D. Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. **Irrigation Science**, New York, v. 22, p. 107-120, 2003.

PEREIRA, A. B.; SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B.; LIMA, L.; FERNANDES, N. **Monitoramento da irrigação por meio da tensão de água no solo**. Ponta Grossa: UEPG, 2006. 20 p. (Boletim Técnico).

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ: USP, 1997. 183 p.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 118-143, 1997.

PHENE, C. J.; REGINATO, R. J.; ITIER, B.; TANNER, B. R. Sensing irrigations needs. In: HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. (Ed.). **Irrigation of agricultural lands**. Madison: ASAE, 1992. p. 207-261. (ASAE Monograph, 9).

PONTES, C. G. M. **Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultivo do abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merril) através de lisímetro de pesagem de precisão para a região litorânea do Ceará**. 2002. 110 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 211-216, 1988.

RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 1089-1142. (Agronomy, 30).

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: USDA, 1954. 160 p. (USDA. Agricultural Handbook, 60).

ROSEGRANT, M. W.; CAI, X.; CLINE, S. A. **Global water outlook to 2025**: averting an impending crisis. Washington, DC: International Food Policy Research Institute: International Water Management Institute, 2002. 28 p.

SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, M.; KALFOUNTZOS, D.; VYRLAS, P. Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigatiom. **Global Nest: The International Journal**, Atenas, v. 4, n. 2/3, p. 85-91, 2002.

SAMMIS, T. W. Comparison of sprinkler, trickler, subsurface, and furrow irrigation methods for row crops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 5, p. 701-704, 1980.

SANDERS, D. C. **Vegetable crop irrigation**. Raleigh: North Carolina Cooperative Extension Service, 1997. 6 p. (Horticulture Information Leaflet, 33-E).

SARAF, C. S.; BAITHA, S. P. Water use patterns and water requirement of lentil planted on different dates. **Lens Newsletter**, Aleppo, v. 12, n. 1, p. 12-15, 1985.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTRET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Cambridge, v. 148, p. 339-346, 1965.

SHOCK, C. C.; PEREIRA, A. B.; HANSON, B. R.; CAHN, M. D. Vegetable irrigation. In: LASCANO, R. J.; SOJKA, R. E. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. 2nd ed. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2007. p. 535-606. (Agronomy Monograph, 30).

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da umidade do solo em bananeira irrigada por sistemas de gotejamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18., 2008, São Mateus. **Anais**... São Mateus: ABID, 2008. 1 CD-ROM.

SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A.; GUERRA, A. F.; FIGUERÊDO, S. F.; ANDEADE, L. M.; ANTONINI, J. C. A. **Manejo de irrigação por tensiometria para culturas de grãos na região do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 60 p. (Circular Técnica, 6).

SILVA, H. R. Manejo da irrigação do milho-doce (*Zea mays* L.) em tempo real usando o termômetro infravermelho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, 2004. Suplemento 2. 1 CD-ROM.

SILVA, J. F.; SIMÃO, S. Influência da umidade do solo na produção do tomateiro. **Boletim Técnico DNOCS**, Fortaleza, v. 31, n. 2, p. 159-193, 1973.

SILVA, W. L. C.; VIEIRA, J. V.; CARRIJO, O. A. Efeito de diferentes tensões de umidade do solo sobre a cultura da cenoura em fase de desenvolvimento ativo do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 2, p. 221-224, 1982.

SIMONNE, E. H.; DUKES, M. D.; HAMAN, D. Z. Principles of irrigation management for vegetables. In: OLSON, S. M.; SIMONNE, E. H. (Ed.). **The vegetable production handbook for Florida**. Gainesville: University of Florida: IFAS Extension, 2006. p. 33-39. (AE260 Horticultural Sciences Dept.).

SINGANDHUPE, R. B.; RAO, G. G. S. N.; PATIL, N. G.; BRAHMANAND, P. S. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicum esculentum* L.). **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, NL, v. 19, p. 327-340, 2003.

SINGH, B. P. Irrigation water management for bush snap bean production. **HortScience**, Alexandria, v. 24, n. 1, p. 69-70, 1989.

SMAJSTRLA, A. G.; PITTS, D. J. **Tensiometer service, testing and calibration**. Gainesville: University of Florida, 1997. 5 p. (Bulletin, 319).

SMITH, M.; HANCOCK, N. H. Leaching requirement of irrigated soil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, NL, v. 11, p. 13-22, 1986.

SMITTLE, D. A.; HALL, M. R.; STANSELL, J. R. Effects of irrigation regimes on yield and water use by sweet potato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 115, n. 5, p. 712-714, 1990.

SOUZA, C. R.; MAROCO, J. P.; CHAVES, M. M.; SANTOS, T.; RODRIGUEZ, A. S.; LOPES, C.; RODRIGUES, M. L.; PEREIRA, J. S. Effects of partial root drying on the physiology and production of grapevines. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 646, p. 121-126, 2004.

SOUZA, M. S. M.; BEZERRA, F. M. L.; VIANA, T. V. A; TEÓFILO, E. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Evapotranspiração do maracujá nas condições do Vale do Curu. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 11-16, 2009.

STANSELL, J. R.; SMITTLE, D. A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of summer squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 114, n. 2, p. 196-199, 1989.

STEGMAN, E. C.; MUSICK, J. T.; STEWART, J. I. Irrigation water management. In: JENSEN, M. E.

Design and operation of farm irrigation systems. Saint Joseph: ASAE, 1983. p. 763-816.

(ASAE Monograph, 3).

STOLL, M.; LOVEYS, B. R.; DRY, P. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. **Journal of Experimental Botany**, London, GB, v. 51, p. 1627-1634, 2000.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC, 1994. v. 2, p. 65-99.

TALENS, J. A. M. **Riego localizado y fertirrigación**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1998. 392 p.

TAYLOR, S. A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 8, p. 433-436, 1965.

THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; VALDEZ, L. C.; FERNANDEZ, M. D. Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, NL, v. 88, n. 1-3, p. 147-158, 2007.

TURNER, D. W. Banana. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC, 1994. v. 2, p. 37-64.

WESTHUIZEN, A. J. van der; ANNANDALE, J. G.; BENADÉ, N. Encouraging irrigation scheduling: a cost-benefit approach. In: IRRIGATION Scheduling: from theory to practice. Rome, IT: FAO, 1996. Disponível em: <www.fao.org/docrep/w4367e/w4367e0s.htm>. Acesso em: 26 fev. 2010.

WILLIAMS, L. E.; MATTHEWS, M. A. Grapevine. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 1019-1055. (Agronomy, 30).

WRIGHT, J. L.; STARK, J. C. Potato. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 859-888. (Agronomy, 30).

YANG, S. L.; AYDIN, M.; YANO, T.; LI, X. Evapotranspiration of orange trees in greenhouse lysimeters. **Irrigation Science**, New York, v. 21, p. 145-149, 2003.

Capítulo 6

Aspectos básicos em fertirrigação

Eugênio Ferreira Coelho
Dani Or
Valdemício Ferreira de Sousa

Introdução

A fertirrigação ou a aplicação de fertilizantes via água de irrigação difere significativamente da aplicação via solo, principalmente porque acelera o ciclo dos nutrientes. Na aplicação convencional, os nutrientes sólidos são depositados próximo à planta e na superfície do solo e precisam esperar a chuva para entrarem na solução do solo. No caso, ficam dependentes das intensidades e das frequências das chuvas para se moverem no solo, podendo ou não ser interceptados pelo sistema radicular. Muitas vezes, esses fertilizantes sólidos são depositados em posições que podem não corresponder à região do solo de maior concentração de raízes. Na aplicação via água de irrigação, o tempo de chegada do fertilizante às raízes das plantas é significativamente reduzido, uma vez que o fertilizante solúvel na água infiltra no solo já em solução, de modo uniforme, em toda a região da zona radicular, garantindo máxima interceptação pelo sistema radicular. Assim, um maior número de

raízes passa a absorver nutrientes fazendo com que a planta possa trabalhar no seu potencial de absorção. Aliado a isso, os fertilizantes são aplicados juntamente com a água de irrigação, em que se espera uma irrigação cujo manejo proporcione um uso racional de água, ou seja, que se irrigue com alta uniformidade de distribuição e alta eficiência de aplicação, reduzindo a percolação e a lixiviação, resultando numa aplicação de fertilizantes de maior eficiência que a obtida na adubação convencional.

Aplicação de água e fertilizantes na superfície do solo

O sucesso da fertirrigação depende da distribuição de água às plantas, o que deve ocorrer do modo mais uniforme possível, isto é, o ideal é que todas as plantas recebam a mesma quantidade de nutrientes. Isso pode ser possível desde que haja a menor variação possível entre a vazão dos emissores para uma mesma pressão de serviço e haja a menor variação possível de pressão nas linhas laterais e entre linhas laterais de um mesmo setor irrigado. Keller e Karmeli (1975) sugerem uma variação máxima de 5% na vazão dos emissores. No uso de fertirrigação em aspersão convencional, deve-se espaçar as linhas laterais e os aspersores de forma a obter o maior coeficiente de uniformidade de distribuição e de aplicação de água possível. Na irrigação localizada, o uso de emissores autocompensantes garante uma vazão uniforme na linha lateral, minimizando o efeito da variação de pressão.

A fertirrigação se adequa muito melhor ao sistema de gotejamento que ao sistema de microaspersão, porque no gotejamento o sistema radicular da cultura coincide com as regiões de maiores valores de umidade do volume molhado gerado por um ou mais gotejadores, otimizando com isso o aproveitamento dos fertilizantes. Na microaspersão, o mesmo ocorre quando se usa um microaspersor por planta ou quando se usa uma faixa molhada contínua; entretanto, 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 microaspersor tende a concentrar água próximo a ele e consequentemente concentrar também os fertilizantes (Figura 1) num raio que, dependendo da vazão do emissor e do espaçamento entre plantas, pode não promover uma distribuição correta dos fertilizantes, prejudicando a sua absorção pelas plantas. No uso de um emissor para quatro plantas, deve-se ater-se à escolha de um emissor que tenha um raio de ação suficiente para aplicar os fertilizantes no entorno das plantas.

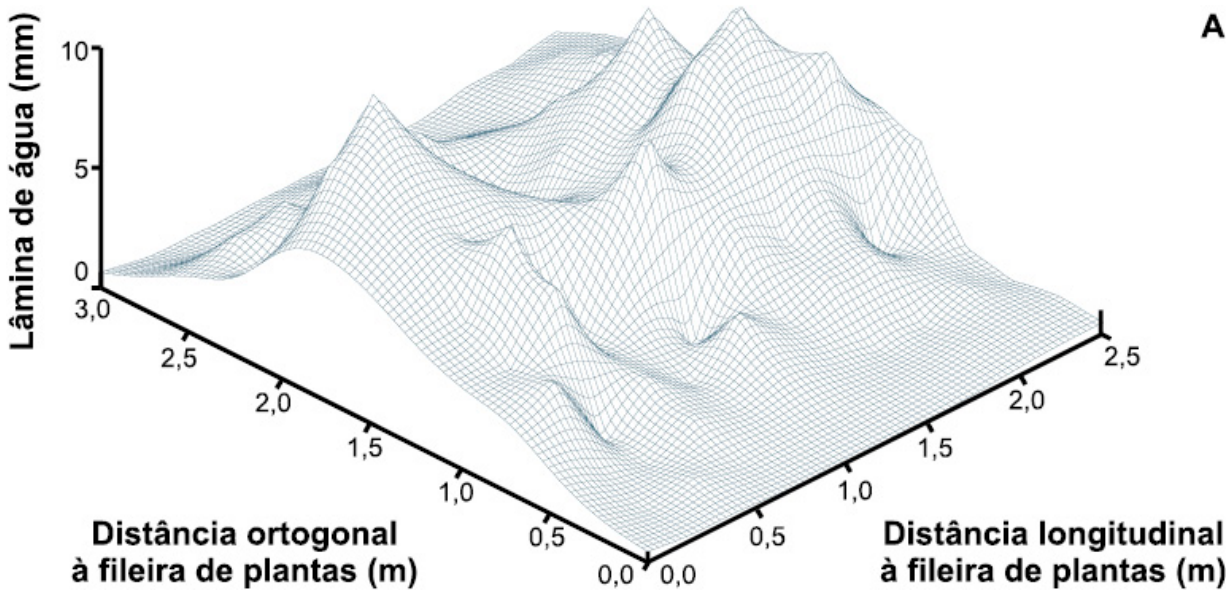


Figura 1a. Distribuição espacial da água de irrigação (A).

Fonte: Silva et al. (2002)

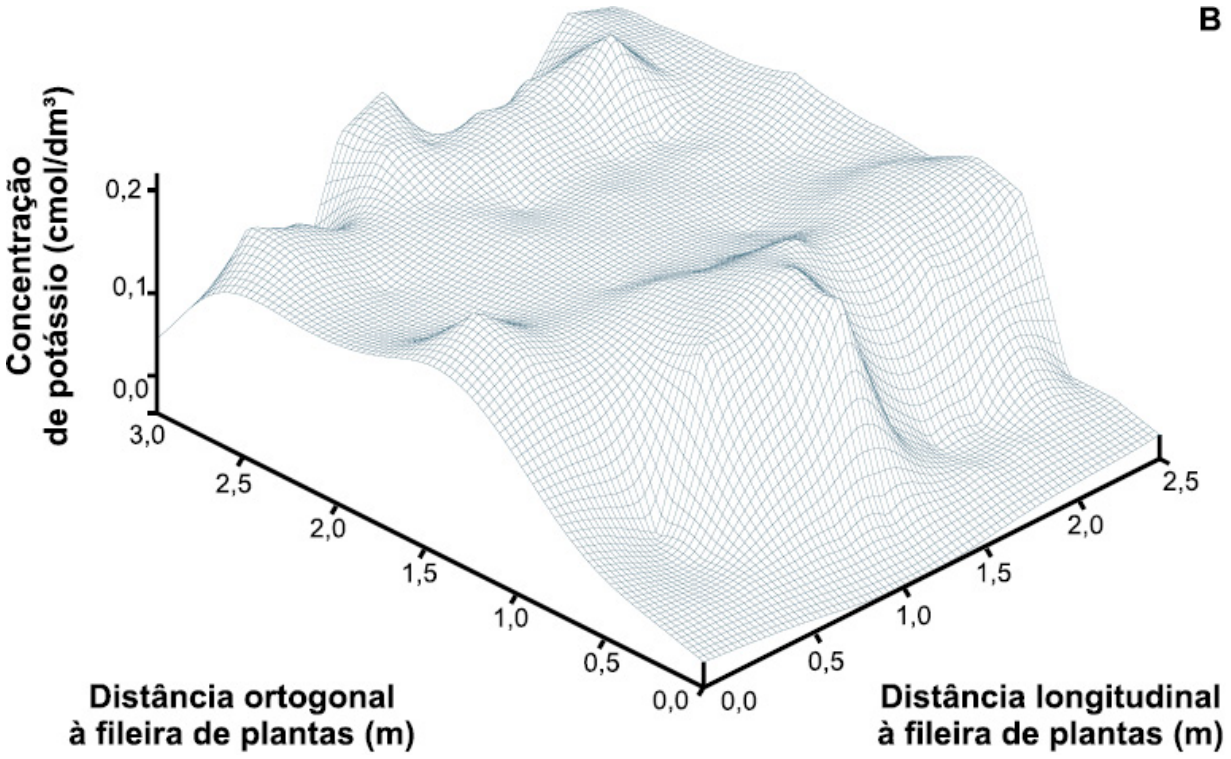


Figura 1b. Distribuição espacial do potássio na água de irrigação (B).

Fonte: Silva et al. (2002)

Transporte dos solutos no meio poroso

A concentração e a distribuição de solutos no solo contribuem, em última análise, para os rendimentos de uma cultura, o que requer o conhecimento da distribuição e do movimento dos solutos dentro do volume molhado do solo. O transporte de solutos no solo está inserido no movimento de água. A convecção é um 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.

$$J_c = J_w\ c = c\left[K(h)\ \frac{dH}{dx}\right] \quad (1)$$

em que (usando representação dimensional de unidade) J_c é o fluxo de solutos ($M\ L^{-2}\ T^{-1}$), J_w o fluxo de água (velocidade de Darcy; $L^3\ L^{-2}\ T^{-1}$) e c a concentração de solutos ($M\ L^{-3}$). Para a estimativa da velocidade aparente ou da velocidade da água no meio poroso ($L\ T^{-1}$), usa-se a equação 2:

$$v = \frac{J_w}{\theta} \quad (2)$$

Assim, o fluxo de solutos Jc será determinado por $Jc = v\ \theta\ c$.

O transporte difusivo é resultante do movimento desordenado de moléculas, visando equalizar as concentrações no meio poroso, onde os solutos se movem de regiões de maior concentração para

as de menor concentração. A taxa de difusão na água é dada pela Lei de Fick:

$$J_d = D_0 \frac{d\,c}{d\,x} \quad (3)$$

em que D_0 [$L^2\ t^{-1}$] é o coeficiente de difusão na água. No meio poroso, o coeficiente de difusão (D_s) é menor, em razão da presença da matriz do solo, da porosidade e da tortuosidade [$T(\theta)$; adimensional]. Jury et al. (1991) relacionaram D_s a D_0 pela equação 4:

$$D_s = D_0\,\theta\ \ T(\mathrm{q}) = D_0\ \frac{\theta^{10/3}}{\eta^2} \quad (4)$$

em que h é a porosidade total do solo ($L^3\ L^{-3}$). Dessa forma, o fluxo de solutos por difusão será dado por:

$$J_d = D_s \frac{\partial\,c}{\partial\,x} \quad (5)$$

O transporte dispersivo no solo se dá 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 com soluções que entram nessas regiões. É um processo que depende do fluxo de água e pode ser descrito similarmente à Lei de Fick da seguinte forma:

$$J_h = D_h \frac{\partial\,c}{\partial\,x} \quad (6)$$

em que J_h é o fluxo de dispersão hidrodinâmica e D_h o coeficiente de dispersão hidrodinâmica ($L^2\ T^{-1}$), que depende da velocidade da água no meio poroso v($L\ T^{-1}$) e da dispersividade $\lambda(L)$, ou seja:

$$D_h = \lambda \left(\frac{J_w}{\theta} \right)^n = \lambda \times v^n \quad (7)$$

A dispersividade varia de 1 cm em colunas de solo a alguns metros em determinações de campo. Em razão da similaridade dos coeficientes de dispersão e difusão, é comum a sua combinação, o que resulta no coeficiente de dispersão-difusão, ou seja:

$$D_e(\theta,v) = D_s + D_h \quad (8)$$

O fluxo total de solutos por unidade de área e por unidade de tempo (Js) será dado em razão da soma dos fluxos convectivos, difusivos e dispersivos, ou seja:

$$J_s = -D_e \frac{\partial c}{\partial x} + J_w \times c \quad (9)$$

A equação acima, combinada com a equação da continuidade (conservação das massas de solutos), resulta em:

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} = \frac{\partial J_s}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(-D_e \frac{\partial c}{\partial x} + J_w \times c \right) \quad (10)$$

em que θc é a massa de solutos na solução do solo. Em condições de escoamento constante, isto é, θ e Jw constantes, a equação

anterior se torna a equação de convecção e dispersão para meio inerte e soluto não adsorvido:

$$R\frac{\partial c}{\partial t} = D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v\frac{\partial c}{\partial x} \quad (11)$$

em que $D = De/\theta$; $v = Jw/\theta$ e R o fator de retardamento, sendo dado por (equação 12):

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{k_d} \quad (12)$$

em que k_d é o coeficiente de distribuição e ρ_b a densidade do solo.

Numa condição de meio anisotrópico, soluto reativo, a equação generalizada de dispersão-convecção é apresentada da seguinte forma (GENUCHTEN; ALVES, 1982):

$$\theta\frac{\partial C}{\partial t} = \theta\nabla(D\nabla C) - q\nabla C - \rho\frac{\partial S}{\partial t} - Q \quad (13)$$

em que D é o coeficiente de dispersão do soluto ($L^2\ T^{-1}$), Q a fonte ou sumidouro para a interação irreversível dos solutos ($M\ L^{-3}$), S igual a k_d e C a quantidade de soluto adsorvida na matriz do solo ($M\ M^{-1}$ do solo).

Soluções analíticas para transporte de solutos

A maioria das soluções analíticas de transporte de solutos refere-se ao escoamento unidimensional. Das poucas existentes para escoamento multidimensional, poucas são de caráter prático (CLOTHIER, 1984).

Philip (1984) derivou soluções analíticas para a determinação do tempo de movimentação de solutos, para a condição de ponto fonte, na superfície e enterrado, em escoamento constante dos solutos no meio poroso. O tempo adimensional de movimentação é dado por:

$$T = \frac{\alpha^3 \times q \times t}{16\pi \times \theta} \quad (14)$$

em que t é o tempo de movimentação do soluto, q a vazão do emissor ($L^3\ T^{-1}$), α o parâmetro do solo determinado da equação $k(h) = K_S\ e\alpha^h$, θ a média da umidade em todo o volume molhado ($L^3\ L^{-3}$). Para a situação do gotejador enterrado, os tempos de movimentação do soluto na direção vertical para cima e para baixo são dados por:

$$T = \frac{1}{2}\left[e^{2Z}(1 - 2Z + 2Z^2) - 1\right] \quad \text{para cima } (Z > 0) \quad (15)$$

$$T = \frac{1}{2}(Z^2 - Z) + \frac{ln(1+2Z)}{4} \quad \text{para baixo } (Z < 0) \quad (16)$$

em que $Z = \alpha z/2$. Estando o gotejador na superfície do solo, os tempos adimensionais de movimentação do soluto das direções radial e para baixo são:

$$\text{radial } (Z = 0) \quad (17)$$

$$T = 2e^{R}\left(1 - R + \frac{R^2}{2}\right) - 2$$

$$T = \frac{Z^2}{2} - Z + ln(1+Z) \quad \text{para baixo } (R = 0) \tag{18}$$

em que $R = \alpha r/2$. Portanto, dado um valor de α, $\overline{\theta}$ (umidade média do volume molhado) e a vazão do gotejador (q) conhecida, o tempo de movimento de um determinado soluto numa dada distância r ou z será obtido determinando-se os valores adimensionais de R e Z. Em seguida, determina-se $T(R)$ ou $T(Z)$ pelas equações de α e finalmente determina-se o t da equação.

Dinâmica dos nutrientes no volume molhado

A distribuição dos solutos no solo depende da sua mobilidade e das reações com a matriz do solo a que estão sujeitos. Essas propriedades dependem dos solutos no meio poroso e, portanto, do nutriente e da fonte de aplicação.

Nitrogênio

O nitrogênio pode ser aplicado via água de irrigação a partir de diferentes fontes. Na fonte amídica, a ureia reage com a água (hidrólise), formando amônia (NH_3) e gás carbônico (CO_2) pela ação da enzima urease, se estiver presente no solo. Da hidrólise, resulta

o íon amônio (NH_4^+), que é adsorvido pelos coloides ou partículas eletricamente carregadas (negativamente) do solo. O movimento desse íon depende da sua concentração e da capacidade de troca catiônica do solo (*CTC*). Se a *CTC* do solo for significativa, o próprio solo ajudará na retenção do movimento dos íons de amônio. Esses íons reagirão biologicamente no solo resultando em nitratos, o que pode ocorrer ao longo de duas a três semanas no solo, a temperaturas entre 25 °C e 30 °C. Todas as formas de amônio resultarão em nitratos. A nitrificação se desenvolve melhor em condições de pH do solo entre 7 e 9,5. A aplicação de fontes amoniacais em solos alcalinos, a altas temperaturas e umidades do solo baixas, implica volatilização direta do amônio.

No uso de fontes de nitrogênio amoniacal, deve-se observar que o amônio é um íon e que, uma vez lançado pelo emissor no volume molhado, o NH_4^+ será adsorvido pelos coloides do solo que servirão de freio ao seu movimento, dando continuação assim que se satisfizer a capacidade de troca catiônica do solo. Outro ponto a ser observado é que a nitrificação requer a presença de bactérias aeróbicas. Assim, a nitrificação não ocorre muito próxima do gotejador, onde as condições tendem a ser anaeróbicas. A nitrificação ocorrerá a distâncias maiores do emissor.

As fontes nítricas, uma vez aplicadas ao solo via água, hidrolizam-se liberando o NO_3^- que é utilizado diretamente pelas plantas (FASSBENDER, 1986). Os nitratos são altamente solúveis em água e não são adsorvidos às partículas do solo, o que os torna altamente móveis tanto por convecção como por difusão no solo. Dessa forma, após a transformação do amônio em nitrato, sucessivas irrigações podem levar esses íons às bordas do volume molhado. Caso a irrigação seja feita de forma a gerar perda por

percolação, certamente haverá lixiviação de nitratos. Exceto o nitrato de amônio, as demais fontes nítricas são neutras. Um ponto a ser observado no uso das fontes de nitrogênio comuns em fertirrigação é 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 et al., 2001). Caso se aplique nitrogênio na forma de NH_4^+ em excesso, isso provocará uma redução da absorção dos outros cátions, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}, 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 fosfato e sulfatos e aumento da absorção de K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} (BURT et al., 1995).

As perdas de nitrogênio na fertirrigação podem ocorrer pela lixiviação ou em razão da denitrificação biológica ou não biológica. Na denitrificação biológica, os nitratos são reduzidos, convertendo-se em N_2 gasoso ou óxido nitroso (N_2O) pela ação de bactérias anaeróbicas do solo (ROLSTON et al., 1979).

$$2NO_3^- \xrightarrow[-2H_2O]{+4N} 2NO_2^- \xrightarrow[-2H_2O]{+4N} N_2O_2^{-} \xrightarrow[+\,2H]{-H_2O} N_2O \longrightarrow N_2$$

(FASSBENDER, 1986)

As condições que favorecem essas transformações são umidades elevadas, acima da capacidade de campo do solo, próximas ou na saturação. Essas condições não são esperadas numa irrigação por aspersão. Na irrigação localizada, pode ocorrer junto ao gotejador durante a irrigação, o que pode ser evitado se o tempo de aplicação dos fertilizantes nitrogenados via água for pequeno dentro do tempo de irrigação. Altos valores de pH do solo contribuem para essas

transformações, e em pH próximo de 4,8, tais transformações serão mínimas (FASSBENDER, 1986).

A denitrificação não biológica ocorre em razão de reações entre os componentes nitrogenados inorgânicos presentes no solo e é muito importante no caso do uso de fontes amoniacais e ureia. Essas transformações são favorecidas pela elevação do pH do solo, principalmente para valores acima de 7, e baixas condições de umidade. Na fertirrigação em condições de intervalos de irrigação maiores, como na aspersão, essas perdas podem ser mais facilitadas do que na irrigação localizada, onde os teores de umidade do solo se mantêm a níveis relativamente elevados continuamente.

Fósforo

O fósforo tem suas restrições à aplicação via água de irrigação pela sua característica de adsorção à matriz do solo, com consequente baixa mobilidade e enorme possibilidade de precipitação dos fosfatos (CHASE, 1985; HAYNES, 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). Rauschkoub et al. (1976) aplicaram ortofosfato em solo franco-argiloso, via irrigação por gotejamento, e observaram que o mesmo se moveu à distância horizontal do emissor de 0,25 m e à profundidade de 0,30 m, concordando com Maciel (1998).

O fósforo requer cuidados na aplicação, principalmente no caso de águas com alto teor de cálcio e magnésio. O uso de ácido fosfórico,

nesses casos, mantém baixo o pH durante a fertirrigação, evitando formação de precipitados no sistema de irrigação (ROLSTON et al., 1979).

Os sistemas de irrigação localizados são os mais adequados à aplicação de fósforo via fertirrigação, principalmente o gotejamento, que localiza ainda mais a aplicação à zona radicular. De toda forma, o fósforo aplicado via fertirrigação em gotejamento enterrado tem grandes chances de aumentar o desempenho do nutriente, uma vez que este é depositado dentro da zona de maior atividade do sistema radicular (BAR-YOSEF, 1999).

Potássio

O potássio pode ser usado na fertirrigação sem problemas de entupimentos, a partir das fontes comumente disponíveis para tal fim, mesmo sólidas. A sua movimentação no solo vai depender da concentração e da *CTC* do solo, mas, uma vez saturadas as superfícies de adsorção, haverá menor impedimento à movimentação dos íons. Pesquisas têm mostrado que o potássio aplicado via gotejamento tem resultado 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 potássio 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).

Micronutrientes

Os micronutrientes, tais como ferro, zinco, cobre e manganês, podem reagir com os sais da água de irrigação, ocasionando formação de precipitados. Assim, seu uso deve ser feito na forma de quelatos como o ácido etileno diamino triacético (EDTA), ácido dietileno triamino penta-acético (DTPA) e outros (ROLSTON et al., 1979), ficando solúveis e mais móveis que na condição original, uma vez que o uso de quelatos evita a adsorção e a precipitação dos íons. Mesmo assim, com o uso de quelatos, há possibilidade de que o micronutriente se desprenda e seja substituído por outros íons, ficando imóvel no solo.

Absorção de nutrientes pelas raízes na fertirrigação

A absorção de nutrientes pelo sistema radicular depende, entre outros, dos seguintes fatores, segundo Bar-Yosef (1977): a) taxa de absorção diária de nutrientes; b) relação entre a concentração de nutrientes na solução do solo e a taxa de absorção; c) necessidade diária das plantas. Pode-se dizer também que a absorção de nutrientes no solo depende da disponibilidade do nutriente na solução do solo e da sua concentração na solução.

A disponibilidade dos nutrientes depende da sua concentração na solução e da sua união ou adsorção ao solo (JUNGK, 1996). O movimento dos nutrientes para as raízes é considerado de baixa velocidade e se dá a curtas distâncias, visto que a solução do solo se encontra dentro do sistema capilar tortuoso do solo, muitas vezes

não interceptado por raízes. A absorção dos nutrientes pela raiz depende da sua concentração no entorno da raiz e da cinética de absorção da raiz.

O contato entre a raiz e a solução do solo, necessário para ocorrer a absorção, dá-se tanto pela interceptação da raiz na solução do solo como pelo transporte dos nutrientes do solo para a raiz pela convecção ou fluxo de massa (predominante) e pela difusão (JUNGK, 1996). A quantidade de nutrientes absorvida pode ser tomada por meio do produto do volume de água absorvido na transpiração pela concentração de nutrientes na solução de equilíbrio do solo.

Bar-Yosef (1977) observou, numa aplicação de nitrogênio em tomate, em solo arenoso, que 30% a 50% do total aplicado foi absorvido pelas raízes. As perdas ocorreram em razão da lixiviação e da baixa concentração de N na zona radicular, o que reduziu a absorção.

A concentração de nutrientes no entorno das raízes constitui o principal fator determinante da absorção (BAR-YOSEF, 1977; JUNGK, 1996). Existe, portanto, uma concentração adequada de nutrientes na solução de solo, no volume molhado, que otimiza a absorção, cujas concentrações inferiores ou superiores fazem-na reduzir. A absorção do fósforo pelas raízes aumentou com a aplicação em taxas razoáveis, o que promoveu elevação da concentração do nutriente junto à superfície das raízes e, consequentemente, aumentou a difusão do nutriente no volume molhado (CHASE, 1985).

O aumento da transpiração da planta pode causar acúmulo de solutos na superfície das raízes, se esses solutos não forem

absorvidos. Isso eleva a concentração dos solutos na superfície das raízes, reduzindo o potencial total da água no entorno da raiz, fazendo diminuir a absorção (HAMZA; ALYMORE, 1992). O fluxo de nutrientes para a raiz, I_n (pmol m^{-1} s^{-1}), pode ser tomado como função do fluxo máximo de nutrientes para a raiz (I_{max}), da concentração dos solutos na superfície da raiz (C_r em mmol m^{-3}) e de uma constante K_m de Michaelis (JUNGK, 1996) dada em mmol m^{-3}, da seguinte forma (BAR-YOSEF, 1999):

$$I_n = \frac{I_{\max} \times C_r}{K_m + C_r} \tag{19}$$

A determinação de C_r foi feita a partir da equação diferencial para representar o fluxo radial de solutos para uma raiz cilíndrica (BAR-YOSEF, 1999). Assumindo-se escoamento uniforme e condições de contorno específicas, resulta em:

$$C_r = \frac{I_{\max}}{W\left(\frac{K_m}{C_r}+1\right)} + \left[C_R - \frac{I_{\max}}{W\left(\frac{K_m}{C_r}+1\right)} \right] \left(\frac{R}{r_0}\right)^{\frac{w}{2pD_p}} \tag{20}$$

em que $W=q_0 2\pi r_0 \theta$, q_0 (m s^{-1}) é a velocidade da solução na superfície da raiz, r_0 (m) o raio da raiz e D_p (m^2 s^{-1}) o coeficiente de difusão na solução do solo.

A concentração do nutriente na água de irrigação deve ser tal que, uma vez aplicada no solo, não faça com que I_n = 0,75 I_{max}, o que corresponde a C_r = 3 K_m. Se a concentração da solução do solo superar esses limites, haverá redução do potencial total da água do

solo junto ao sistema radicular em decorrência da redução do potencial osmótico, com consequente redução da absorção das raízes (I_n).

Impactos da fertirrigação no ambiente solo

A salinização é um processo com potencialidades em condições de cultivos protegidos em virtude do uso intensivo da adubação, da falta de chuvas ou irrigação para lixiviar o excesso de fertilizantes e da contínua evaporação da água do solo (DIAS, 2004). O manejo inadequado da irrigação e da adubação via água de irrigação constitui uma das principais causas de salinização nas condições de cultivos protegidos. Dias et al. (2005) observaram, no período de maior exigência nutricional da cultura do meloeiro, incrementos de ate 1,60 dS m^{-1} na salinidade da água de irrigação por causa da fertirrigação em um Luvissolo cultivado com melão fertirrigado, fato que elevou significativamente a salinidade do solo. Medeiros (2001) constatou elevação da salinidade de um solo do nível não salino para moderadamente salino e salino, respectivamente, pelo uso de fertirrigação em condições de cultivos protegidos.

Uma vez que a fertirrigação consiste na aplicação de água e fertilizantes ao solo, a interação entre níveis de água e níveis de fertilizantes pode influenciar a salinidade do solo ou a condutividade elétrica do mesmo. Em trabalho conduzido em um plantio de bananeira, cultivar Prata Anã, com espaçamento 3,0 m x 2,7 m x 2,7

m em solo aluvial no norte de Minas, o comportamento da condutividade elétrica do extrato de saturação (*CEes*) foi avaliado para diferentes doses de nitrogênio aplicadas na forma de ureia sob dois níveis de irrigação, isto é, com a reposição de 45% da *ETc* e 105% da *ETc*, com as doses de potássio fixas em 432 kg ha^{-1} e 1.008 kg ha^{-1}, respectivamente. A Figura 2 mostra variações na *CEes* de 0,49 dS m^{-1} a 1,28 dS m^{-1}, com elevação da *CEes* com o aumento do nível de ureia até 360 kg ha^{-1} e aumento da *CEes* com o aumento do cloreto de potássio de 120 kg ha^{-1} a 720 kg ha^{-1}. Verificou-se para os níveis aplicados de 360 kg ha^{-1} e 840 kg ha^{-1} de ureia valores iguais ou superiores a 720 kg ha^{-1} de cloreto de potássio em menores valores de *CEes* para o nível de irrigação equivalente à reposição de 105% *ETc*, indicando que o aumento da lâmina de irrigação promoveu diluição dos sais e redução na *CEes* do solo (Figura 2 A, B, C e D).

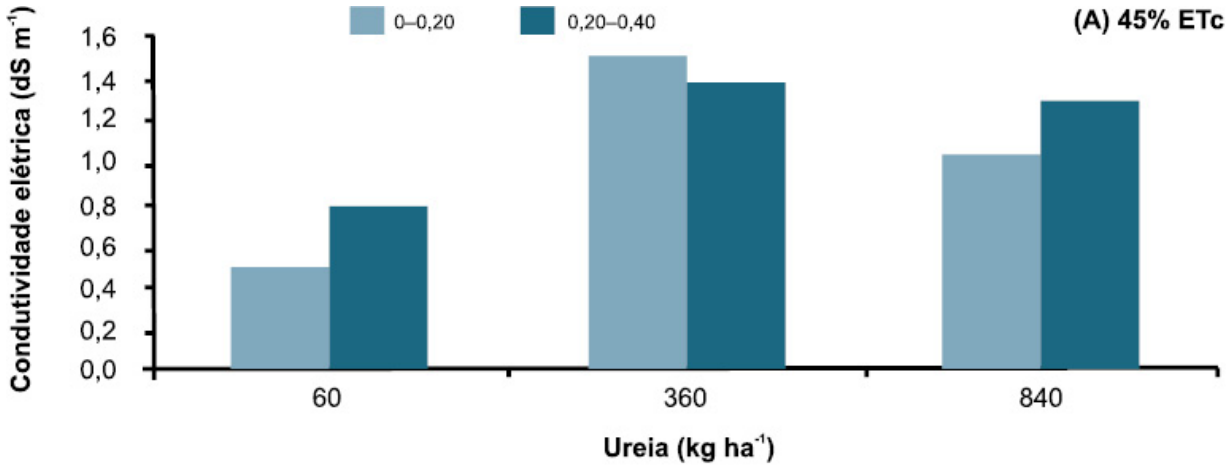


Figura 2A. Condutividade elétrica do extrato de saturação como função de níveis de ureia e cloreto de potássio, para 45% e 105% de *ETc*.

Fonte: Coelho et al. (2008).

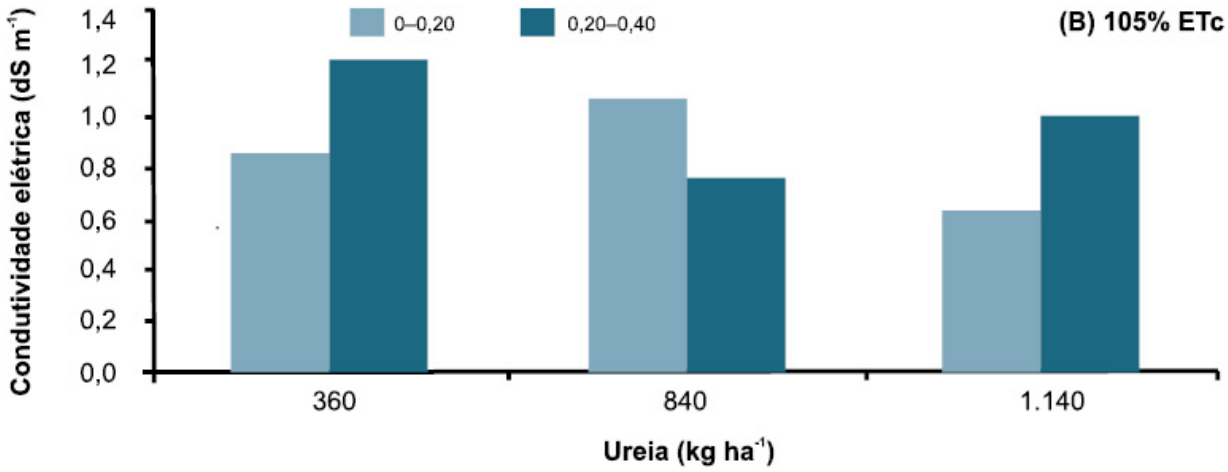


Figura 2B. Condutividade elétrica do extrato de saturação como função de níveis de ureia e cloreto de potássio, para 45% e 105% de ETc.

Fonte: Coelho et al. (2008).

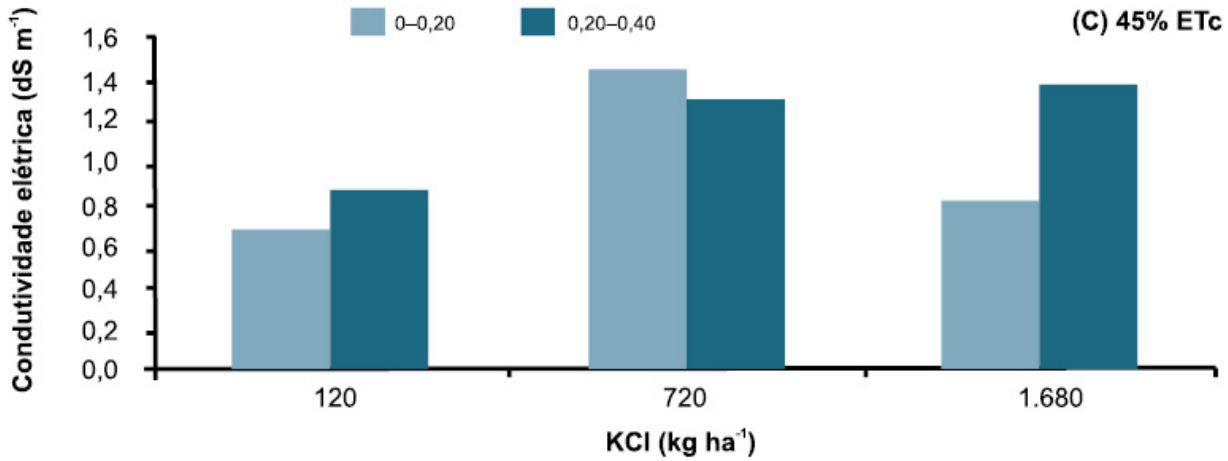


Figura 2C. Condutividade elétrica do extrato de saturação como função de níveis de ureia e cloreto de potássio, para 45% e 105% de ETc.

Fonte: Coelho et al. (2008).

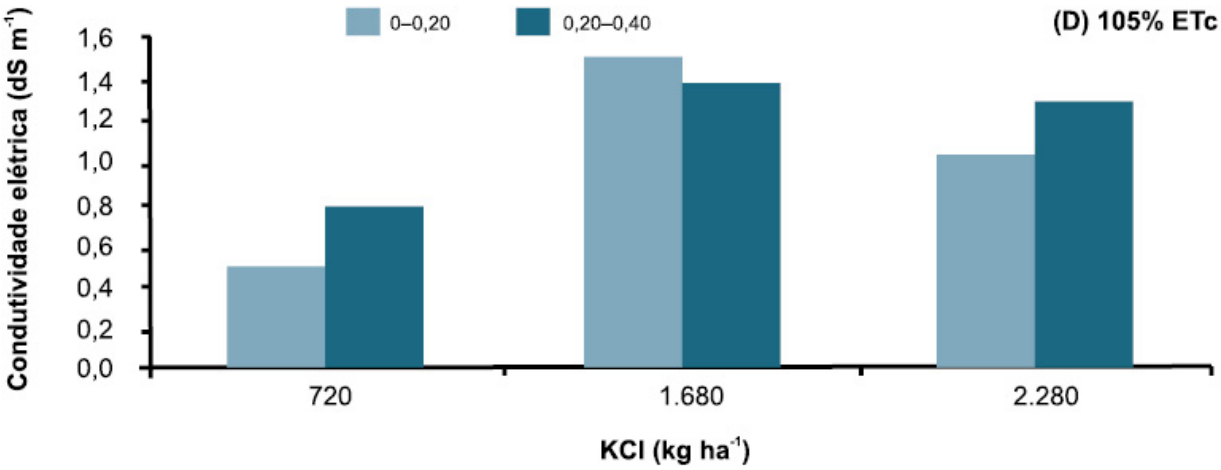


Figura 2D. Condutividade elétrica do extrato de saturação como função de níveis de ureia e cloreto de potássio, para 45% e 105% de *ETc*.

Fonte: Coelho et al. (2008).

Numa avaliação da distribuição da *CE* (condutividade elétrica da solução do solo) ao longo do tempo, a 0,30 m do caule da planta de maracujazeiro, Sousa (2000) verificou o comportamento da salinidade da solução do solo em função de diferentes níveis de água e doses de potássio utilizados. Neste trabalho foi observado que a *CE*, no período, foi maior para os tratamentos que receberam menores níveis de irrigação, confirmando o efeito da quantidade de água aplicada na distribuição de íons e na concentração de sais na solução do solo (Figuras 3 e 4). Os elevados valores de *CE* podem ser atribuídos à quantidade de água aplicada ao tratamento L_1K_1 (L_1 – 25% do volume de reposição de água calculado; K_1 – 0,025 kg por planta por ano de K_2O), que provavelmente não foi suficiente para promover a lixiviação dos íons, principalmente K^+, NH^+ e NO_3^-, uma vez que, além do potássio, foi aplicado também nitrogênio na forma de ureia. Já com a aplicação de L_4K_4 (L_4 – volume equivalente à reposição de água calculado; K_1 – 0,900 kg por planta por ano de K_2O), com o volume de água aplicada (2.706 litros por planta por

ano), quatro vezes o L_1K_1, a concentração salina foi baixa (Figura 3).

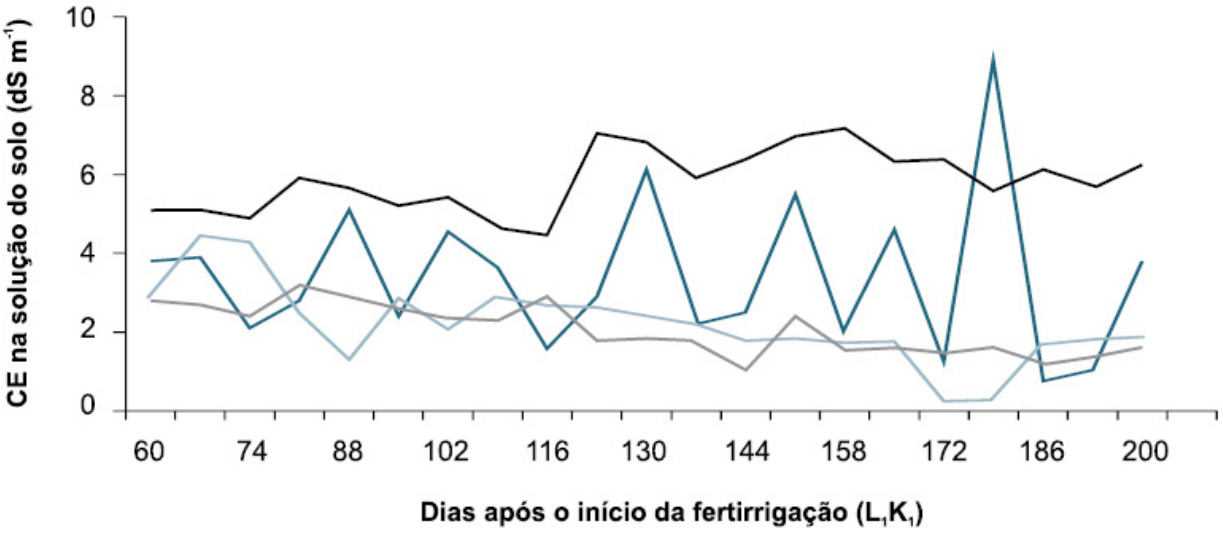


Figura 3. Distribuição temporal de *CE* (dS m^{-1}) no perfil do solo sob as lâminas de irrigação e a dose de potássio (L_1K_1) aplicados por gotejamento em plantas de maracujazeiro-amarelo.

Fonte: Sousa (2000).

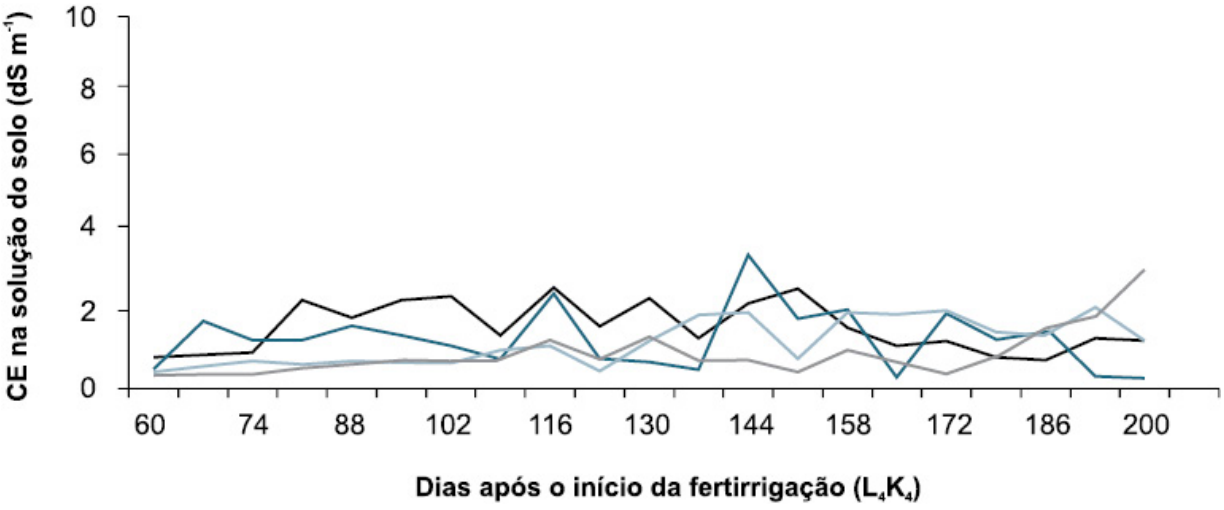


Figura 4. Distribuição temporal de *CE* (dS m^{-1}) no perfil do solo sob a lâmina de irrigação e a dose de potássio (L_4K_4) aplicados por gotejamento em plantas de maracujazeiro-amarelo.

Fonte: Sousa (2000).

Com base nos resultados de *CE* apresentados nas Figuras 3 e 4, constatou-se que os valores registrados de *CE* em L_1K_1 resultaram em *CEes* superiores à salinidade limiar para o maracujazeiro-amarelo durante quase todo o período, fato este que pode ter contribuído para a redução da absorção de nutrientes, afetando o rendimento das plantas; enquanto para L_4K_4 os valores estimados de *CEes* foram inferiores a 1,3 dS m^{-1}. Considerando o nível de tolerância do maracujazeiro à salinidade, a aplicação de maior nível de irrigação proporcionou melhores condições de potencial osmótico no sistema radicular da planta durante todo o período avaliado, mas, por outro lado, pode ter reduzido os teores de nutrientes, principalmente de potássio, na zona de concentração das raízes, afetando a produção de frutos.

Outro impacto, ainda mais comum que a salinização, está relacionado ao uso das fontes nitrogenadas e a variação do pH do solo. As reações no solo seguem uma eletroneutralidade, isto é, um balanço de cargas iônicas, e isso também ocorre na solução de nutrientes nas plantas (BAR-YOSEF, 1999). Quando ocorre maior absorção de cátions que ânions, as raízes tendem a compensar excretando prótons (H^+), que acidificam a rizosfera. Por outro lado, se há maior absorção de ânions, as raízes tendem a compensar liberando hidroxilas (OH^-), que reagem com o CO_2 resultando em bicarbonatos HCO_3^-, que levam à alcalinização da rizosfera. Assim, a aplicação de fontes amoniacais com absorção dessas fontes em excesso pelas raízes pode causar acidificação, enquanto a aplicação com absorção de fontes nítricas em excesso pode causar alcalinização da solução do solo.

O uso de fontes amoniacais na fertirrigação favorece a acidificação do solo durante a nitrificação. Os efeitos acidificantes das diferentes

fontes nitrogenadas amoniacais dependem da dose e granulação delas, bem como do pH original do solo e de sua capacidade tampão (FASSBENDER, 1986).

A ureia, pelo fato de ter caráter não iônico, não reage com a água do meio. O uso da ureia na fertirrigação pode resultar, da mesma forma que as fontes amoniacais, em acidificação do solo, uma vez que as reações no solo são semelhantes às que ocorrem com as fontes amoniacais. O efeito acidificante da ureia pode agravar-se com o seu uso em combinação com os fosfatados (superfosfato triplo) e potássicos acidificantes (cloreto de potássio). Deve-se, entretanto, levar em conta as diversas variáveis do solo, inclusive seu poder tampão, que pode alterar o efeito acidificante da ureia.

O pH e a condutividade elétrica do solo foram monitorados periodicamente até os 776 dias, em um Latossolo Amarelo de textura argilosa, após o plantio da cultura do mamoeiro, com fertirrigações semanais de ureia e cloreto de potássio. Os resultados mostraram que o uso de ureia e cloreto de potássio não teve efeito de redução do pH do solo ou de variação do nível de salinidade (COELHO et al., 2002).

Borges et al. (2005) avaliaram a variação do pH de um Latossolo Amarelo Distrófico de Tabuleiros Costeiros, fertirrigado a cada 15 dias, com duas fontes de nitrogênio (ureia e sulfato de amônio), em duas profundidades, aos 3, 4 e 5 anos após o cultivo da bananeira variedade ‘Prata Anã’, conduzida em sistema de fileiras duplas, no espaçamento de 4 m x 2 m x 2 m em que foi aplicado 400 kg de N ha^{-1} ano^{-1}. Após os anos de cultivo houve redução no pH do solo, notadamente com a aplicação de sulfato de amônio, com

decréscimo no valor de 5,5 para 4,2. Por outro lado, com a ureia, a redução máxima no pH foi de 0,6 na camada de 0,20–0,40 m.

Coelho et al. (2008) avaliaram o pH para níveis de aplicação de ureia via fertirrigação durante 1 ano e 10 meses e as possíveis tendências de impactos no sistema solo-água decorrente da aplicação de nitrogênio e potássio em diferentes dosagens, sob diferentes lâminas de irrigação na cultura da bananeira ‘Prata Anã’ em Neossolo Fúlvico. O solo em seu estado inicial apresentou pH igual a 5,6, 5,4 e 5,7 para os locais onde se aplicou 18 kg ha^{-1}, 108 kg ha^{-1} e 252 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Seguindo essa mesma ordem, o pH foi reduzido em 5,35%, 7,40% e 21,05% após 22 meses de cultivo com banana.

Referências

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

BAR-YOSEF, B. Trickle irrigation and fertigation of tomatoes in sand dunes: water, N, and P distributions in the soil and uptake by plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, p. 486-491, 1977.

BORGES, A. L.; BISPO, L. D.; SANTOS JÚNIOR, J. L. C. dos. Propriedades químicas do solo fertirrigado com duas fontes nitrogenadas após três anos de cultivo com bananeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais**... Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

BURT, C.; O´Connor, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Irrigation Training Research Center, 1995. 295 p.

CHASE, R. G. Phosphorus application through a subsurface trickle system. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. **Proceedings**... Saint Joseph: ASAE, 1985. p. 393-400.

CLOTHIER, B. E. Solute travel times during trickle irrigation. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 20, n. 12, p. 1848-1852, 1984.

COELHO, E. F.; BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da; ALVES, M. da S. **Aspectos de fertirrigação em bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2008. 28 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Documentos, 171).

COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M.; LIMA, D. M.; SOUSA, V. F. Distribuição de potássio e da condutividade elétrica no solo pela aplicação de diferentes doses de potássio e nitrogênio por fertirrigação em mamoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais**... Salvador: Unesp, 2002. 1 CD ROM.

DIAS, N. da S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000400009>. Acesso em: 30 jan. 2006.

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. 2004. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. San José, CR: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1986. 401 p.

GENUCHTEN, M. T. H. van; ALVES, W. J. **Analytical solutions of the one-dimensional convective-dispersive solute transport equation**. Washington, DC: USDA, 1982. 151 p. (USDA. Technical Bulletin, 1661).

HAMZA, M. A.; ALYMORE, L. A. G. Soil solute concentration and water uptake by single lupin and radish plant roots: I. Water extraction and solute accumulation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 145, n. 2, p. 187-196, 1992.

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

JUNGK, O. A. Dynamics of nutrient movement at the soil: root interface. In: ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 529-556.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. Soil aeration. In: JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. New York: John Wiley & Sons, 1991. p. 196-217.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinklers, 1975. 133 p.

MACIEL, J. L. **Distribuição do fósforo e do potássio no perfil do solo aplicado via água de irrigação por gotejamento superficial**. 1998. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MEDEIROS, J. F. Salinização em áreas fertirrigadas: manejo e controle. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 201-240.

PHILIP, J. R. Travel times from buried and surface infiltration point sources. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 20, p. 990-994, 1984.

RAUSCHKOUB, R. S.; ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; CARLTON, A. B.; BURAU, R. G. Phosphorous fertilization with drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, p. 68-72, 1976.

ROLSTON, D. E.; SCHULBACH, R. S.; PHENE, C. J.; MILLER, R. J.; URIU, K.; CARLSON, R. M.; HANDERSON, D. W. **Applying nutrients and other chemicals to trickle irrigated crops**. Berkeley: University of California, 1979. 14 p. (Bulletin, 1893).

SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; LIMA, D. M.; SANTOS, J. A. G. Distribuição do potássio no perfil do solo em bananeira (*Musa* spp.) fertirrigada por microaspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais**... Salvador: Unesp, 2002. 1 CD ROM.

SOUSA, V. F. de. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.)**. 2000. 178 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VIEIRA, R. F.; COSTA, E. L.; 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.

Capítulo 7

Fertilizantes para fertirrigação

Ana Lúcia Borges
Davi José Silva

Introdução

A escolha do fertilizante a ser aplicado na água de irrigação deve ser feita após avaliação das características dos produtos, para que sua utilização seja adequada ao sistema de irrigação, à exigência da planta, ao solo, etc.

As fontes de fertilizantes empregadas devem apresentar alta solubilidade para que a concentração final do nutriente na solução seja, de fato, a calculada, como também para não causar entupimentos dos emissores, principalmente dos gotejadores. A temperatura da água e a pureza do fertilizante interferem na sua solubilidade.

Formas de fertilizantes

Os fertilizantes empregados via água de irrigação podem ser sólidos ou líquidos (fluidos). Os fertilizantes líquidos apresentam-se na

forma de soluções claras, soluções coloidais e misturas em suspensão.

Fertilizantes sólidos

Os fertilizantes sólidos aplicados via água de irrigação devem ser altamente solúveis. Os nitrogenados são os mais solúveis, notadamente aqueles na forma de nitrato (Tabela 1). Apresentam-se de quatro formas: nítrica, amoniacal, nítrica-amoniacal e amídica. São solúveis em água e adequados à fertirrigação, incluindo em sistemas por gotejamento.

Tabela 1. Características dos fertilizantes nitrogenados utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração do nutriente (g kg^{-1})		Solubilidade (g L^{-1}) a 20 °C	Índice salino(1)	Índice salino/ unidade(2)	Índice de acidez / basicidade(3)
	N	Outros				
Nitrato de amônio	340	-	1.900	105	3,28	60
Nitrato de cálcio	140	280 de Ca	1.200	61	4,07	Básico
Nitrato de magnésio	70–110	100–160 de MgO	-	-	-	Básico
Nitrato de potássio	130	460 de K_2O	310	74	1,30	Básico
Sulfato de amônio	200	240 de S	730	69	3,45	110
Ureia	450	-	1.000	75	1,70	71
Nitrato de sódio	160	-	730	100	6,25	Básico
Uran	320	-	-	-	-	-
DAP	170	400 de P_2O_5	400	34	0,56	88
MAP	110	440–600 de P_2O_5	220	30	0,53	60
MAP + ureia	125	125 de P_2O_5	-	-	-	-

Magnitra-L	70	100 de MgO	-	-	-	-

(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.
Fonte: Frizzone e Botrel (1994) e Vitti et al. (1994).

As fontes potássicas sólidas são bastante utilizadas via água de irrigação, principalmente o cloreto e o nitrato, pois apresentam maior solubilidade (Tabela 2). A aplicação do cloreto de potássio requer cuidados, principalmente em sistemas de irrigação por gotejamento. O KCl vermelho, além de fornecer ferro ao solo em teores que podem ser excessivos à cultura, pode precipitar, formando crostas nas paredes internas da tubulação de irrigação e provocar obstruções nos gotejadores. Por sua vez, o KCl branco não fornece ferro ao solo; contudo, como contém alumínio (Al), pode ser tóxico à planta.

Tabela 2. Características dos fertilizantes potássicos utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração do nutriente (g kg^{-1})		Solubilidade (g L^{-1}) a 20 °C	Índice salino(1)	Índice salino/ unidade(2)	Índice de acidez /basicidade(3)
	K_2O	Outros				
Cloreto de potássio	600	480 de Cl	340	115	1,98	Neutro
Nitrato de potássio	440	140 de N	320	74	1,30	Básico
Sulfato de potássio	520	170 de S	110	46	0,96	Neutro
Nitrato de sódio e potássio	140	140 de N	-	31	-	Básico
Sulfato de potássio e magnésio (K-Mg)	220	220 de S +110 de Mg	290	43	-	-
MKP	340	520 de P_2O_5	-	-	-	-

(1) Relativo ao valor do índice salino do nitrato de sódio ($NaNO_3$) considerado como 100.
(2) Índice salino dividido pelo teor de K_2O no fertilizante x 10.
Fonte: Coelho (1994) e Vitti et al. (1994).

As fontes fosfatadas são pouco utilizadas via água de irrigação em razão da baixa solubilidade e, caso a água seja rica em cálcio, causará precipitação de fosfato de cálcio dentro da tubulação, entupindo principalmente os gotejadores.

Fertilizantes líquidos

Soluções claras

As soluções claras são denominadas soluções puras ou perfeitas, e podem ser empregadas tanto na fertirrigação por aspersão, quanto por gotejamento. As soluções nitrogenadas são as mais comuns, entre as quais se destacam a mistura de nitrato de amônio e ureia, que forma o uran (320 g de N L^{-1}). Essa solução possui o nitrogênio em formas mais estáveis (amídica, nítrica e amoniacal), com menor possibilidade de perda por volatilização.

A inclusão de micronutrientes nas soluções claras pode ser feita desde que permaneçam em solução e confiram estabilidade à formulação.

Soluções coloidais

As soluções coloidais são soluções líquidas compostas, obtidas pela reação do ácido fosfórico com amônia. Apresentam consistência espessa e uma viscosidade alta, e podem ser enriquecidas com nitrogênio e potássio. São muito utilizadas na fertirrigação em alguns países, como Israel.

No Brasil, existem suspensões coloidais pela reação do ácido ortofosfórico com a amônia anidra, por exemplo: 6-30-00 (cor

amarelada, pH 6,2 a 6,8) e 10-30-00 (cor branca, pH 3,5 a 4,5). Podem ser empregadas diretamente na fertirrigação ou utilizadas como matéria-prima para a produção de formulações NPK fluidas com uran ou cloreto de potássio.

Misturas em suspensão

É uma mistura a frio, sem reação química, obtida a partir das formulações fluidas (32-00-00, 10-30-00 e 6-30-00) em conjunto com cloreto de potássio.

A maior parte do potássio é mantida em suspensão pela adição de argilas (atapulgita ou bentonita).

A mistura em suspensão pode ser usada em sistema de fertirrigação por aspersão, desde que se mantenha a solução em constante agitação. Contudo, não deve ser utilizada nos sistemas por gotejamento visto que pode causar entupimento dos emissores de água.

Compatibilidade entre os fertilizantes

A compatibilidade entre os fertilizantes, bem como entre os íons da água de irrigação, deve ser considerada a fim de que se evite a formação de precipitados.

Caso haja incompatibilidade entre os íons (por exemplo, o sulfato é incompatível com o cálcio, e os fosfatos com o cálcio e o magnésio), recomenda-se a aplicação alternada dos fertilizantes isoladamente,

num ciclo de 4 dias, com fertirrigação diária. Além disso, águas naturalmente ricas em Ca e Mg (conhecidas como “águas duras”) podem formar compostos insolúveis com fosfato e sulfato.

Cuidados devem ser tomados com a mistura entre cloreto de potássio e outra fonte que contenha sulfato. Essa mistura poderá diminuir a solubilidade do K, levando à formação de K_2SO_4, que apresenta solubilidade três vezes menor que o KCl.

Poder de corrosão dos fertilizantes

O poder de corrosão dos fertilizantes é variável e pode afetar os equipamentos de fertirrigação. Equipamentos de alumínio sofrem maior ação de soluções alcalinas e do ácido fosfórico; no entanto, o aço inoxidável não é atacado. Os materiais plásticos são mais resistentes que os metais.

Na Tabela 3, apresenta-se a corrosão relativa de alguns fertilizantes dissolvidos em água em relação a diversos materiais. Verifica-se que o sulfato de amônio, o ácido fosfórico e o fosfato diamônico (DAP) são os mais corrosivos. A ureia é o fertilizante nitrogenado menos corrosivo. A lavagem do sistema de irrigação com água pura por aproximadamente 30 minutos minimiza os riscos de corrosão.

Tabela 3. Corrosão relativa dos fertilizantes dissolvidos na água em relação a diversos metais(1).

Fertilizante	pH	Alumínio	Cobre	Bronze	Aço	Aço galvanizado	Aço inoxidável
Ureia (solução)	8,0	C	SC	C	SC	SC	SC

Fertilizante	pH	Alumínio	Cobre	Bronze	Aço	Aço galvanizado	Aço inoxidável
Nitrato de amônio	7,0	BC	BC	BC	BC	BC	BC
Ureia-nitrato de amônio	8,0	C	C	C	C	BC	SC
Amônia líquida	9,0	SC	BC	BC	SC	SC	SC
Sulfato de amônio	5,0	BC	MC	MC	MC	MC	MC
Nitrato de cálcio	5,0	SC	BC	BC	BC	C	SC
Nitrato de sódio	8,0	C	SC	SC	BC	BC	SC
Ácido fosfórico	1,0	MC	MC	MC	MC	MC	SC
Fosfato diamônico (DAP)	6,0	MC	MC	MC	-	-	BC
Polifosfato de amônio	6,0	C	BC	BC	SC	BC	SC

(1) SC = sem corrosividade; BC = baixa corrosividade; C = corrosividade a elevada concentração; MC = muito corrosivo.

Solubilidade dos fertilizantes

Os fertilizantes utilizados em fertirrigação devem apresentar alta solubilidade, seja para não causar entupimento dos emissores, seja para garantir a concentração da solução.

Nas Tabelas 1, 2 e 4, apresentam-se as solubilidades dos fertilizantes mais utilizados na fertirrigação.

Tabela 4. Características dos fertilizantes com micronutrientes utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente ($g\ kg^{-1}$)	Solubilidade ($g\ L^{-1}$)
Sulfato de cobre	250 de Cu	220
Sulfato de manganês	280 de Mn	1.050
Sulfato manganoso ($MnSO_4.3H_2O$)	270 de Mn	7.42

Fertilizante	Concentração de nutriente (g kg^{-1})	Solubilidade (g L^{-1})
Molibdato de sódio	390 de Mo	560
Molibdato de amônio	480 de Mo	400
Sulfato de zinco	220 de Zn	750
Quelato de zinco (Na_2ZnEDTA)	140 de Zn	-
Ácido bórico	160 de B	50
Bórax	110 de B	50
Solubor [(Na_2B_8)O_{13}. $4H_2O$)]	200 de B	220
Sulfato de ferro	190 de Fe	240
Tenso TM Fe	60 de Fe	Alta
Quelato de Fe (NaFeEDDHA)	60 de Fe	140
Hydroplus TM Micro	30 de B + 120 de Cu + 38 de Fe-EDTA + 32 de Fe-DTPA + 120 de Mn + 41 de Mo + 140 de Zn	-
Tenso Cocktail	5,2 de B + 25,7 de Ca-EDTA + 5,3 de Cu-EDTA + 21de Fe-EDTA + 17,4 de Fe-DTPA + 25,7 de Mn-EDTA + 1,3 de Mo + 5,3 de Zn-EDTA	Alta

Fonte: Villas Boas et al. (1994) e Vitti et al. (1994).

Dois fatores interferem na solubilidade dos fertilizantes: a temperatura da água e a pureza do fertilizante.

A temperatura da água deve estar em torno de 20 °C. Em temperaturas mais baixas, principalmente no inverno, menor quantidade do fertilizante será solubilizada. Para fertilizantes de baixa solubilidade, a exemplo do bórax, recomenda-se aquecer a água, fazendo-se a mistura posteriormente.

O grau de pureza do fertilizante é importante para a sua solubilidade. Fertilizantes que contêm condicionadores, óleo ou parafina, argilas e outras impurezas, como o óxido de ferro no

cloreto de potássio vermelho, têm sua solubilidade reduzida e devem ser evitados na fertirrigação.

Salinidade dos fertilizantes

Os índices salinos de alguns fertilizantes são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Alguns problemas de salinidade podem surgir em razão do manejo inadequado do fertilizante, da quantidade aplicada, da sua escolha e da qualidade da água de irrigação. Nas regiões áridas, em razão da baixa lixiviação dos sais no solo, os níveis desses sais tornam-se mais elevados do que nas regiões chuvosas, por isso deve-se ter o cuidado para não ocorrer salinização dos solos.

Ressalta-se que, à medida que os sais se acumulam no solo, as raízes apresentam maior dificuldade para absorver água. Existe tolerância diferenciada a sais entre as plantas; no entanto, grande parte das fruteiras é bastante sensível.

Acidificação dos fertilizantes

O efeito no pH do solo pode ser observado por meio do caráter ácido ou básico dos fertilizantes. Isso se deve à própria natureza química dos componentes, capazes de doar ou receber prótons, ou a reações secundárias, que ocorrem com os produtos de dissociação desses componentes no solo.

O emprego de fontes que tenham caráter ácido, no caso dos nitrogenados (Tabela 1), principalmente em fertirrigação por gotejamento, em que o fertilizante encontra-se em zona restrita de solo molhado, gera um efeito de acidificação mais intenso e pode promover a redução do pH em um único ciclo da cultura.

Tipos de fertilizantes

Fertilizantes nitrogenados

O nitrogênio é o nutriente mais aplicado em fertirrigação, pois o seu parcelamento é recomendado em razão dos seguintes aspectos: alta mobilidade no solo (principalmente nos arenosos), alto índice salino dos adubos que o contêm e baixa exigência inicial das culturas.

Nos fertilizantes, o nitrogênio pode apresentar-se segundo as formas químicas (Tabela 1): nítrica [nitrato de cálcio – $Ca(NO_3)_2$, nitrato de potássio – KNO_3 e nitrato de magnésio – $Mg(NO_3)_2$]; amoniacal [DAP – $(NH_4)_2HPO_4$, MAP – $NH_4H_2PO_4$ e sulfato de amônio – $(NH_4)_2SO_4$]; nítrica-amoniacal (nitrato de amônio – NH_4NO_3); amídica [ureia – $CO(NH_2)_2$].

O nitrogênio amoniacal, após ser absorvido pela raiz ou sofrer oxidação biológica no processo de nitrificação, tem como resultado a acidificação do solo. Para manter o equilíbrio elétrico ao absorver o nitrogênio na forma nítrica, a planta libera na rizosfera hidroxilas e ácidos carbônicos que provocam alcalinização no solo. De forma

sucinta, as fontes nitrogenadas têm efeito alcalino ou ácido, conforme segue: NO_3^- = efeito alcalino, NH_4^+ = efeito ácido, NH_4NO_3 = efeito ácido, e ureia (NH_2) = efeito ácido.

Os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são a ureia, o sulfato de amônio, o nitrato de amônio e a solução líquida uran.

De modo geral, as fontes nitrogenadas mais empregadas apresentam alta solubilidade, elevado índice salino, alto índice de acidez e, muitas vezes, ausência de macronutrientes secundários. A ureia, que é a fonte mais empregada em razão do menor preço, apresenta menor índice salino/unidade do nutriente entre as fontes mais empregadas. O sulfato de amônio, apesar do macronutriente secundário (S), conta com índice salino superior ao do nitrato de amônio e maior potencial para acidificar o solo (Tabela 1).

Fertilizantes fosfatados

Em razão da baixa mobilidade do fósforo (P) no solo e da quase inexistente lixiviação pela água de percolação em solos minerais, a aplicação de fertilizantes fosfatados via água de irrigação é pouco utilizada. Além disso, a maior exigência das culturas na fase inicial de crescimento, bem como a baixa solubilidade da maioria dos adubos fosfatados e a facilidade de precipitação do nutriente, que causam entupimento dos microaspersores e gotejadores, restringem o uso desses fertilizantes em fertirrigação.

A adubação fosfatada apresenta efeito residual de longa duração, pois o P não se move a longas distâncias de onde é colocado, e a movimentação do nutriente no perfil do solo é pequena, até mesmo em solos mais arenosos. Contudo, em solo arenoso, já foi

observada movimentação de P em até 18 cm de profundidade com a fertirrigação em cultura de ciclo curto. Apesar da baixa mobilidade de P, fatores como a textura do solo, a taxa de aplicação e a quantidade de água aplicada afetam o seu movimento.

A irrigação por gotejamento pode aumentar o movimento de P no solo de cinco a dez vezes, se comparada à aplicação via solo. O movimento é maior daquela forma porque uma maior concentração em uma faixa estreita do solo satura os sítios de fixação próximos ao ponto de aplicação do fertilizante. O movimento de P no solo aumenta com a sua taxa de aplicação e também com o raio de molhamento.

Os fertilizantes fosfatados mais utilizados via água de irrigação são o MAP, o DAP (Tabela 1), o MKP (Tabela 2) e o ácido fosfórico (460 g a 760 g de P_2O_5 L^{-1}). Este último, apesar do risco de corrosão em condutos metálicos, é empregado também para desentupir e desencrostar os emissores (50 mL em 50 L de água para 500 m de mangueira).

Existem no mercado fertilizantes fluidos em forma de suspensão coloidal (10-30-00) e misturas em suspensão (3-15-10), mas esses apresentam custos mais elevados do que as fontes convencionais. Na forma líquida, os seguintes tipos são encontrados: MAP + DAP (240 g de P_2O_5 L^{-1}), MAP + nitrato de amônio + cloreto de potássio (100 g de P_2O_5 L^{-1}) e o MAP + ureia (125 g de P_2O_5 L^{-1}).

Quando se aplicam fontes de fósforo via fertirrigação, existe um alto risco de precipitação de fosfatos, como fosfato tricálcico, se as águas contiverem Ca e o pH for superior a 6,5. Portanto, deve haver critério no que diz respeito à escolha da fonte e a sua 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, 0, deve-se utilizar o MAP, que tem efeito acidificante, o que leva à redução do pH. Outra possibilidade é o uso do ácido fosfórico concentrado. A quantidade aplicada deve ser suficiente para reduzir o pH, mas há um limite para que não produza corrosão em peças metálicas da rede.

Fertilizantes potássicos

A aplicação de potássio via água de irrigação é bastante viável em razão da alta solubilidade da maioria dos fertilizantes (Tabela 2). Além disso, em virtude da mobilidade no solo, principalmente nos mais arenosos, quantidades menores do nutriente devem ser aplicadas em cada parcelamento, a fim de diminuir as perdas por lixiviação.

O emprego do sulfato de potássio pode levar à precipitação de sulfato de cálcio, além de, em razão da sua menor solubilidade, haver necessidade de aquecimento da água para aumentar a solubilização.

O cloreto de potássio (KCl) é a fonte mais utilizada por ser mais barata por unidade de K_2O e apresentar maior solubilidade. O sulfato de potássio, apesar do baixo potencial salino por unidade de K_2O, entre as fontes citadas, é a que apresenta a mais baixa solubilidade. O nitrato de potássio tem sido utilizado por apresentar alta solubilidade e potencial salino inferior ao do KCl (Tabela 2).

Fertilizantes com cálcio, magnésio e enxofre

Normalmente, para suprir as plantas de cálcio e magnésio utiliza-se a calagem, por meio da aplicação de calcário dolomítico ou calcítico.

O cálcio (Ca) aplicado via água de irrigação é limitante, pois favorece a formação de precipitados, como os de sulfato de cálcio, por isso seu uso deve ser restringido ao mínimo possível. Em caso de se optar por sua aplicação, a melhor fonte é o nitrato de cálcio (Tabela 1). Existe também o cloreto de cálcio pentaidratado, com solubilidade de 670 g L^{-1} de água e as formas quelatizadas. No caso do uso do nitrato de cálcio, recomenda-se adicionar ácido nítrico concentrado à base de 0,3 L kg^{-1} de nitrato de cálcio quando o pH da água de irrigação for superior a 6,5.

O magnésio pode ser suprido via água de irrigação, na forma de sulfato de magnésio (90 g a 160 g de Mg kg^{-1} e 120 g a 140 g de S kg^{-1}), pois apresenta alta solubilidade (710 g L^{-1} de água). Existem também o nitrato de magnésio, a magnitra-L (Tabela 1) e o sulfato de potássio e magnésio (Tabela 2).

O enxofre (SO_4^{--}) apresenta alta mobilidade no solo, como o nitrogênio, e existem 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 (Tabela 1) e o sulfato de potássio (Tabela 2) são as fontes mais empregadas. Na forma de fertilizante fluido, existe a fórmula 20-00-00 + 4% S (sulfuran), que é obtida pela adição de sulfato de amônio ao uran.

Fertilizantes com micronutrientes

Para aplicação de micronutrientes via água de irrigação, deve-se considerar a solubilidade, a compatibilidade e a mobilidade do fertilizante no solo. Os micronutrientes podem ser encontrados na forma de sais e quelatos (Tabela 4).

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 com fosfato de amônio e nitrato de cálcio.

Referências

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

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Ed.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 227-260.

VILLAS BOAS, R. L.; BOARETTO, A. E.; VITTI, G. C. Aspectos da fertirrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Ed.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 283-308.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes e fertirrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Ed.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 262-281.

Capítulo 8

Determinação e preparo da solução de fertilizantes para fertirrigação

José Francismar de Medeiros
Valdemício Ferreira de Sousa
Celsemy Eleutério Maia
Eugênio Ferreira Coelho
Waldir Aparecido Marouelli

Introdução

Na fertirrigação, o preparo das soluções fertilizantes consiste em determinar a quantidade de nutrientes e fertilizantes necessária para a cultura em cada aplicação e as respectivas concentrações. Na determinação da quantidade de nutrientes por aplicação, é necessário conhecer: a) a extração pela cultura durante o período; b) a quantidade de nutrientes que o solo pode fornecer para a cultura; c) a quantidade de nutrientes existente na água de irrigação; d) a marcha de absorção de nutrientes nos diferentes estádios fenológicos (DOMINGUEZ VIVANCOS 1996; PAPADOPOULOS, 1999); e a eficiência de aplicação e utilização dos nutrientes aplicados.

As soluções podem ser preparadas com apenas um fertilizante (soluções simples) ou com vários fertilizantes (soluções compostas). Nas soluções compostas, para definir os fertilizantes a serem aplicados via água de irrigação, é necessário verificar a compatibilidade entre eles. Não se devem misturar produtos que não sejam compatíveis entre si. Para qualquer tipo de solução, após determinadas as doses dos fertilizantes a serem aplicadas, o preparo da solução deve levar em consideração, principalmente, o seu pH e a solubilidade dos adubos. O pH da solução deve ser mantido entre 5,5 e 6,0. Para valores de pH acima de 7,5, pode ocorrer precipitação de carbonatos de cálcio e de magnésio, provocando entupimento dos emissores e das linhas de irrigação (BURT et al. 1995; COELHO et al., 2000; SOUSA et al. 1999).

Ressalta-se que, para realizar uma boa fertirrigação, é preciso determinar a solução adequada para a cultura, que é função da água de irrigação, do solo e das condições ambientais (CADAHIA LÓPEZ; EYMAR ALONSO, 1998). Portanto, não existe uma recomendação padrão para a concentração de nutrientes na solução a ser injetada no sistema de irrigação. Essa concentração pode ser obtida a partir da concentração da solução final desejada, que flui nos emissores de irrigação. A concentração média da solução deve ficar numa faixa de modo que o limite inferior não dilua demais a solução do solo e o superior não aumente de forma significativa a pressão osmótica da solução do solo. Com base nessa necessidade e nas fontes disponíveis (fertilizantes), preparam-se soluções concentradas dos fertilizantes, que permitam, dentro do tempo de fertirrigação, a aplicação dos nutrientes.

Este capítulo tem como objetivo apresentar critérios e metodologias que permitam determinar e preparar as soluções de fertilizantes a

serem aplicadas por fertirrigação às culturas e as respectivas concentrações.

Critérios para a determinação e o preparo de soluções fertilizantes

As soluções fertilizantes são aquelas preparadas para serem injetadas no sistema de irrigação, contendo os nutrientes necessários às plantas. Elas podem ser preparadas em baldes, caixas ou mesmo em tanques ou reservatórios de alvenaria azulejados ou com revestimento (lona plástica, manta butírica e PVC) preparado para esse fim. A injeção da solução deve ser feita na estação de controle, antes do filtro, de modo que partículas potencialmente causadoras de entupimentos nos emissores sejam retidas (COELHO, 2002).

Para se determinar e preparar uma solução de fertilizantes para fertirrigação, é necessário adotar como critério o conhecimento das propriedades da água de irrigação e dos fertilizantes.

Propriedades da água de irrigação

Para o preparo de uma solução de fertilizantes adequada, é preciso conhecer as propriedades físicas, químicas e biológicas da água a ser usada na irrigação. Entre elas, pode-se destacar:

a. Conteúdo de sais, que pode ser avaliado pela condutividade elétrica e pressão osmótica.

b. Sodicidade, que é avaliada pelo conteúdo de sódio e está diretamente relacionada à razão de adsorção de sódio.
c. Capacidade de entupimentos físicos, químicos e biológicos.
d. Toxicidades específicas por íons, tais como, cloro, sódio e bicarbonatos.
e. Acidez e poder tampão, que podem ser avaliados com o conhecimento do pH e corrigida (acidez) com o auxílio da curva de neutralização.
f. Presença de íons sulfatos (SO_4^{--}), nitratos (NO_3^{-}), bicarbonatos (HCO_3^{-}), carbonatos (CO_3^{--}), cloreto (Cl^{-}), cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}), potássio (K^{+}) e sódio (Na^{+}).

Propriedades dos fertilizantes

Na determinação e preparo da solução de fertilizantes, é necessário saber as propriedades ou características dos principais fertilizantes utilizados na fertirrigação, como solubilidade, pureza, índice de salinidade, acidez, concentração dos nutrientes, densidade, grau de compatibilidade entre fertilizantes e concentrações mais utilizadas na solução-estoque.

No caso da solubilidade, a fertirrigação preconiza o uso de fertilizantes solúveis em água. Alarcon (1997) afirma que um fertilizante, para ser usado na fertirrigação, deve ter alta solubilidade em água e os resíduos insolúveis a 15 °C devem ser inferiores a 0,5%. Com relação à pureza, na preparação da solução, os fertilizantes devem ter o mínimo de impureza possível. A Tabela 1 apresenta características de alguns fertilizantes comerciais, comumente usados na fertirrigação. Todas as características são de fundamental importância para um adequado manejo da fertirrigação, no entanto, a acidez, o índice de salinidade e o grau de compatibilidade entre fertilizantes serão mais enfatizados em razão das suas maiores complexidades na determinação, preparo e manejo da aplicação da solução fertilizante.

Tabela 1. Características dos principais fertilizantes usados na fertirrigação.

Fertilizante (formulação)	PM[1]	Densidade (kg L^{-1})	Solubilidade a 20 °C (g L^{-1})	Concentração utilizada (%)	IS[2]	IA[3]	CE[4] (dS m^{-1})
Nitrato de potássio (13-0-46)	101,10	2,109	317	10–15	74	-26	0,69
Nitrato de cálcio (15,5-0-0-26,6 CaO)	164,10	2,504	1.294	20,0	53	-20	0,60
Ureia (46-0-0)	60,00	1,366	1.080	10,0	75	71	0,00
Sulfato de amônio (21-0-0-22S)	132,20	1,769	754	7,5	69	110	1,03
Fosfato monoamônico (MAP) (12-60-0)	115,00	1,803	368	10,0	34	65	0,45
Nitrato de amônio (33,5-0-0)	80,05	1,725	1.877	20,0	105	62	0,85
Fosfato diamônico (DAP) (11-37-0)	132,10	1,619	689	-	24	77	-
Fosfato monopotássico (MKP) (0-52-33)	136,10	2,338	227	10,0	8	Neutro	0,38
Cloreto de potássio (0-0-60)	74,55	1,984	342	10–15	116	Neutro	0,95
Sulfato de potássio (0-0-50-18S)	174,70	2,662	111	7,5	46	Neutro	0,88
Sulfato de magnésio (16MgO e 13S)	243,50	1,680	356	7,5	62	Neutro	0,41
Sulfato de cálcio	172,20	2,320	2	10,0	-	Neutro	-
Ácido fosfórico	98,00	1,38–1,58	-	10,0	-	76	1,54
Ácido nítrico	63,00	1,34–1,36	-	10,0	-	46	2,29

[1] PM = Peso Molecular.
[2] IS = Índice de Salinidade - percentual de aumento da pressão osmótica em relação ao nitrato de sódio.
[3] IA = Índice de Acidez - quantidade de $CaCO_3$ requerida para neutralizar a acidez produzida.
[4] CE = Condutividade Elétrica obtida em 0,5 mL ou 0,5 g L^{-1} do fertilizante.
Fonte: Alarcon (1997).

Acidez

O pH da solução deve estar entre 5,5 e 6,0. Acima de 6,3, deve-se evitar misturar produtos contendo cálcio com soluções fosfatadas (COELHO et al., 2000; SOUSA; COELHO, 2001). Para se aplicarem

soluções fosfatadas em água rica em cálcio (Ca > 3,0 $mmol_c$ dm^{-3}), o pH da água deve ser inferior a 6,3. A redução do pH da solução pode ser feita com base na curva de neutralização da água. A curva de neutralização permite a obtenção da quantidade exata de ácido necessária ao ajuste do pH, entretanto, o seu uso pode tornar mais trabalhoso e oneroso o processo de correção do pH, sobretudo quando não se dispõe de um medidor de pH. Na prática, existem algumas recomendações, como aplicar 1 a 2 $mmol_c$ L^{-1} de ácido, contudo, apenas é válida para águas superficiais, que têm entre 2 e 4 $mmol_c$ L^{-1} de bicarbonatos. Para saber o volume de ácido (mL) por metro cúbico de água, conhecendo-se os miliequivalentes, podem ser usadas as tabelas de ácido nítrico (Tabela 2), ácido fosfórico (Tabela 3) e ácido sulfúrico (Tabela 4).

Tabela 2. Ácido nítrico em opções comerciais.

Densidade kg L^{-1}	% HNO_3	Número de mol por litro	Vol. para 1,0 mol (mL)	Vol. para 1,0 $mmol_c$ (mL)	N-NO_3 (g L^{-1})
1,13	30,0	5,38	185,88	0,186	75,36
1,33	53,5	11,29	88,56	0,089	158,17
1,35	57,9	12,40	80,61	0,081	173,75
1,36	58,0	12,52	79,88	0,080	175,34
1,36	59,0	12,73	78,53	0,079	178,37
1,37	61,0	13,26	75,40	0,075	185,77
1,38	62,5	13,69	73,06	0,073	191,73
1,39	65,0	14,34	69,74	0,070	200,84
1,40	67,0	14,89	67,18	0,067	208,51
1,41	69,0	15,44	64,77	0,065	216,27

Tabela 3. Ácido fosfórico em opções comerciais.

Densidade kg L^{-1}	% H_3PO_4	Número de mol por litro	Vol. para 1,0 mol (mL)	Vol. para 1,0 $mmol_c$ (mL)[1]	P_2O_5 (g L^{-1})

1,25	37	4,72	211,88	0,182	334,77
1,58	75	12,09	82,70	0,071	857,73
1,70	85	14,75	67,82	0,058	1.045,93

(1) Para pH final da água de 6,5.

Tabela 4. Ácido sulfúrico em opções comerciais.

Densidade kg L^{-1}	% H_2SO_4	Número de mol por litro	Vol. para 1,0 mol (mL)	Vol. para 1,0 $mmol_c$ (mL)	S-SO_4 (g L^{-1})
1,18	25	3,01	332,47	0,166	96,45
1,30	40	5,30	188,61	0,094	170,01
1,83	95	17,73	56,42	0,028	568,40

Dos ácidos utilizados na fertirrigação, o ácido sulfúrico e o fosfórico são considerados polipróticos, e o primeiro apresenta as duas ionizações praticamente completas dentro da faixa de pH frequentemente utilizada. Para o ácido fosfórico, sua ionização é função do pH final da água desejada já que esta é altamente dependente do pH. Em pH 4,5 todo o ácido fosfórico encontra-se na forma H_2PO_4 e, a partir desse valor, o segundo hidrogênio inicia sua ionização, completando-se em torno de pH 9,5. Assim, na faixa de pH entre 4,5 e 9,5, a ionização será fracionária, ficando entre 1 e 2. Egreja Filho et al. (1999) propuseram um modelo matemático para calcular o valor da ionização (n) do ácido fosfórico entre os valores de pH 4,5 e 9,5 como sendo $n = 1 + \alpha$, sendo α função do pH da água de irrigação desejado e estimado pela equação 1.

$$\alpha = \frac{10^{-9,37} \times 10^{-pH}}{(10^{-pH})^3 + 10^{-2,16} \times 10^{-2\,pH} + 10^{-9,37} \times 10^{-pH} + 10^{-21,69}} \quad (1)$$

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (*CE*) da água de irrigação após a adição da solução de fertilizantes não deve ultrapassar 2,0 dS m^{-1} e a sua pressão osmótica deve ficar entre 70 kPa e 100 kPa. Valores maiores são permitidos quando a cultura fertirrigada é tolerante à salinidade. A condutividade elétrica depende do tipo de sais de uma solução e da concentração dessa solução. Alguns sais são mais condutores que outros, como o sulfato de amônio, que é melhor condutor comparado ao nitrato de cálcio e à ureia, que não são condutores. A Tabela 5 apresenta os valores da *CE* em razão da concentração de alguns fertilizantes utilizados na fertirrigação. O incremento da *CE* por quantidade de sais adicionados à água depende da própria *CE* inicial da água, sobretudo quando a *CE* da mistura água mais adubos ultrapassa 5,0 dS m^{-1}. Isso ocorre pelo fato de a relação entre a *CE* e a concentração não ser perfeitamente linear. Entretanto, fazendo-se curvas de calibração, os erros poderão ficar abaixo de 5%.

Tabela 5. Valores de pH e de condutividade elétrica (*CE*) de alguns fertilizantes utilizados na fertirrigação conforme a concentração.

Fertilizante	Concentração (g L^{-1})	pH(1)	CE (dS m^{-1})
Nitrato de amônio	2,00	5,40	2,80
33,3% de N	1,00	5,60	0,90
	0,50	5,60	0,80
	0,25	5,90	0,50
Ureia	3,00	6,30	0,10
46% de N	1,00	5,80	0,07
	0,50	5,70	0,07
	0,25	5,60	0,05
Sulfato de amônio	1,00	5,50	2,10
21% de N	0,50	5,50	1,10

	0,25	5,50	0,50
Ácido fosfórico	1,00	2,60	1,70
54% de P_2O_5	0,50	2,80	1,00
	0,25	3,10	0,50
Fosfato monoamônico (MAP)	1,00	4,90	0,80
(12-61-00)	0,50	5,00	0,40
	0,25	5,30	0,20
Nitrato de potássio	1,00	7,00	1,30
(16-00-46)	0,50	6,60	0,60
	0,25	6,60	0,30
Sulfato de potássio	1,00	7,10	1,40
(00-00-50)	0,50	6,60	0,80
	0,25	6,60	0,30

(1) Depende da origem do adubo.
Fonte: Dominguez Vivancos (1996).

Cada solução de fertilizantes é feita a partir de uma condição inicial diferente, em termos da qualidade da água de irrigação, com variados componentes, e solubilidade diferente. Dessa forma, não se pode esperar precisão no uso da condutividade elétrica para estimar a concentração de uma solução de fertilizantes.

Da mesma forma, o uso da condutividade elétrica de uma solução para estimar o seu potencial osmótico deve ser ponderado.

No preparo da solução de fertilizantes, devem-se evitar misturas, como: cálcio e magnésio com fosfatos; cálcio com sulfatos; fósforo com nitrato de cálcio, magnésio e sulfato de magnésio. Normalmente, usa-se numa solução de fertilizantes o nitrato de cálcio Ca $(NO_3)_2$ para aplicação de cálcio. A aplicação de magnésio é feita nas formas do nitrato de magnésio Mg $(NO_3)_2$ e sulfato de magnésio Mg (SO_4). O potássio pode ser aplicado na forma do

nitrato de potássio (KNO); nitrogênio, nas formas do nitrato de amônio (NH_4NO_3) e ureia CO $(NH_2)_2$.

A formulação da solução de fertilizantes depende, portanto, de diversos fatores. O cálculo dessas soluções tem sido voltado também para a hidroponia, em que o solo é desconsiderado e apenas a água de irrigação é levada em conta. Nesse caso, parte-se de soluções consideradas adequadas para determinados cultivos. Nessas soluções adequadas, são estabelecidas concentrações (cmol dm^{-3}) para os possíveis cátions e ânions a serem usados. Tais valores de concentração são subtraídos dos valores desses íons presentes na água de irrigação previamente analisada, resultando nos valores de milequivalentes por litro de cada íon necessário para se obter a solução ideal. A partir disso, formulam-se os compostos ou as fontes dos íons a serem aplicados e calculam-se as respectivas quantidades.

No caso da fertirrigação em campo, não há recomendações de soluções adequadas, tomadas como padrão, como as propostas para hidroponia (Tabela 6). De acordo com Coelho (2002) e Sousa et al. (1999), os critérios para o caso baseiam-se no fato de que a concentração de fertilizantes na água de irrigação, na saída dos emissores, não deve ser superior a 700 mg L^{-1}, devendo ficar entre 200 mg L^{-1} e 400 mg L^{-1}, principalmente para os sistemas por gotejamento, que são os mais sujeitos a entupimentos de emissores.

Tabela 6. Componentes de soluções de fertilizantes propostas para uso em fertirrigação (mg L^{-1}), em condições de hidroponia.

Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	N NH_4	N NO_3	P PO_4^{-3}	S SO_4^{-2}	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
200	48	234	210	31	64	-	-	0,10	0,014	0,01	0,10	0,016

200	48	195	-	196	31	64,0	0,5	0,25	0,020	0,25	0,25	0,010
200	96	390	28	140	63	447,0	1,0	0,30	0,020	0,05	0,50	-
197	44	400	30	145	65	197,5	2,0	0,50	0,030	0,05	0,50	0,020

Fonte: Resh (2001).

Grau de compatibilidade entre fertilizantes

No preparo da solução com dois ou mais fertilizantes, deve-se evitar incompatibilidade entre eles. Para isso, pode-se consultar a Figura 1 ou fazer o teste de incompatibilidade, que é o mais correto. Segundo Vieira e Ramos (1999), o teste de incompatibilidade pode ser feito na propriedade, misturando-se os fertilizantes com a água de irrigação em recipiente transparente, na mesma diluição água/fertilizante aplicada no sistema de irrigação. Após a mistura, deixa-se em repouso por 2 horas e observa-se a presença de precipitados ou turvamento no fundo do recipiente. Caso isso ocorra, há possibilidade de a injeção simultânea dos dois produtos causar entupimento das linhas ou dos emissores.

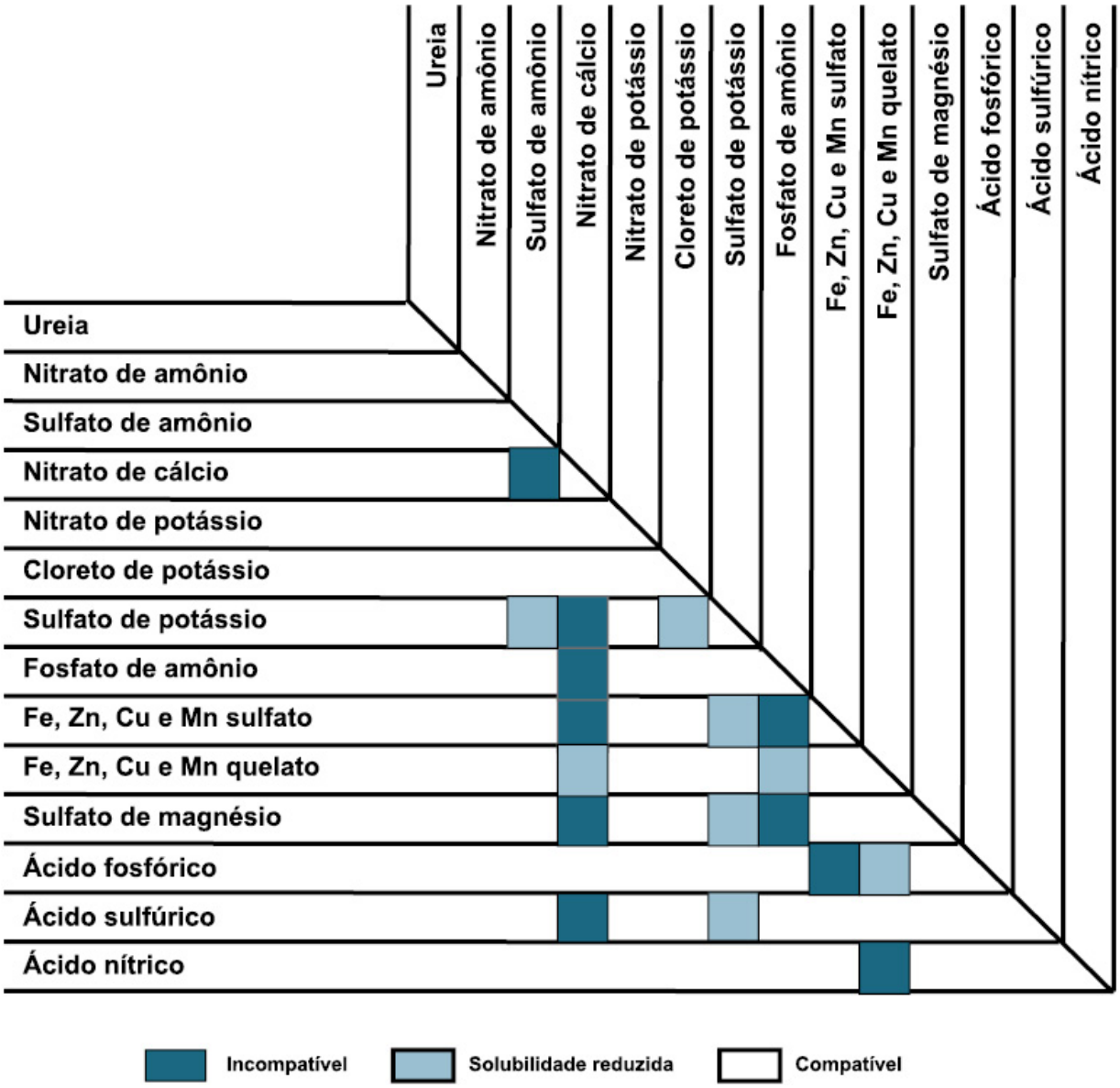


Figura 1. Orientação para mistura de alguns fertilizantes com base na compatibilidade.

Fonte: adaptado de Burt et al. (1995), Landis et al. (1989) e Montag (1999).

Misturas com ácido nítrico ou sulfúrico podem gerar calor. Para a mistura de fertilizantes na fertirrigação, existem algumas regras básicas que devem ser levadas em consideração. Entre elas, incluem-se:

1. Sempre encher o recipiente de água com 50% a 75% da quantidade de água necessária à dissolução dos fertilizantes sólidos.

2. Sempre adicionar primeiro os fertilizantes líquidos à água no recipiente de mistura e depois adicionar os fertilizantes sólidos. Os fertilizantes líquidos têm a característica, em alguns casos, de aumentar a temperatura da solução, enquanto os fertilizantes sólidos, de baixar a temperatura.
3. Sempre adicionar os fertilizantes sólidos lentamente e com agitação para prevenir a formação de partículas de solubilização mais lenta.
4. Sempre adicionar o ácido à água, e não o contrário.
5. Não misturar amônia anidra ou aquamônia diretamente com qualquer tipo de ácido. A reação é violenta e imediata.
6. Não misturar soluções de fertilizantes concentradas diretamente com outra solução também concentrada.
7. Não misturar compostos contendo sulfato com outros que contenham cálcio. O resultado será a formação de sulfato de cálcio que é de baixa solubilidade.
8. Sempre conferir as informações sobre solubilidade e incompatibilidade dos fertilizantes utilizados.
9. Muitos problemas de incompatibilidade tendem a desaparecer se os fertilizantes forem aplicados em pequenas concentrações ou aplicados separadamente.
10. Não misturar fertilizantes contendo fósforo com outro fertilizante que contenha cálcio ou magnésio, sem fazer um teste primeiro.
11. Altos teores de cálcio e/ou magnésio na água podem combinar com o fosfato e formar substâncias de baixa solubilidade.
12. Não misturar hipoclorito de sódio ou de cálcio com fertilizantes contendo nitrogênio. Pode haver formação de cloroamina, que é tóxico.
13. Não misturar ácido fosfórico com sulfato de ferro, sulfato de zinco, sulfato de cobre e sulfato de manganês.
14. Não misturar sulfato de amônio com cloreto de potássio. Haverá formação de sulfato de potássio, que é de mais baixa solubilidade que os dois fertilizantes misturados.

Com base nessas regras básicas de mistura de fertilizantes, recomenda-se que sejam utilizados três recipientes ou tanques para o armazenamento da solução-estoque, sendo um para a mistura de fertilizantes cálcicos (ácido ou neutro), outro para micronutrientes em meio neutro e o último para os demais fertilizantes (exceto o cálcio) em meio ácido (CADAHIA LÓPEZ; EYMAR ALONSO, 1998).

Cálculos da solução fertilizante

Há diferentes maneiras de se formular uma solução de fertilizantes, entretanto, no caso de fertirrigação em culturas, particularmente em fruteiras, sabe-se que a quantidade de nutrientes a ser aplicada pode ser determinada por planta ou por área. De posse dessa quantidade de nutrientes, é necessário determinar a quantidade de fertilizante comercial e o método utilizado para aplicar esse fertilizante via água de irrigação. Com o peso do nutriente ou do fertilizante-fonte e com a sua concentração, pode-se determinar o volume necessário para manter tal concentração.

Cálculo da necessidade de fertilizante

As quantidades de nutrientes a serem aplicadas nas culturas podem ser determinadas mediante a necessidade da cultura para obter uma determinada produtividade, subtraindo-se das concentrações existentes no solo e na água de irrigação. No entanto, com os resultados da análise de solo e de água, de acordo com Sousa e Coelho (2001) e Sousa et al. (2002), pode-se determinar a necessidade de adubação, utilizando-se as equações 2, 3, 4, 5, 6 e 7:

a. Massa do solo ocupada pelas raízes.

$$M_{so} = z \text{ x } d \text{ x } 10^4 \quad (2)$$

em que M_{so} é a massa do solo ocupada pelas raízes (t ha^{-1}), d a densidade do solo (t m^{-3}) e z a profundidade do sistema radicular (m).

b. Quantidade de nutriente disponível no solo.

$$M_{ns} = M_{so} \text{ x } d_n \text{ x } 10^{-3} \quad (3)$$

em que M_{ns} é a quantidade de nutriente disponível no solo (kg ha^{-1}), M_{so} a massa de solo (t ha^{1}) e d_n a disponibilidade de nutriente no solo (g t^{-1}) dada pela análise de solo.

A disponibilidade de potássio no solo pode ser estimada pela seguinte equação:

$$M_{\mathrm{K_2O}} = \frac{M_{SO} \times d_{Ks} \times 0{,}0184}{d} \quad (4)$$

em que $M_{\mathrm{K_2O}}$ é a quantidade de K_2O disponível no solo (kg ha^{-1}), M_{so} a massa de solo (t ha^{-1}) e d_{Ks} a disponibilidade de K no solo (cmol$_c$ dm^{-3}).

c. Quantidade de nutriente disponível na água de irrigação.

$$M_{na} = V_{ta}\, d_{na} \quad (5)$$

A disponibilidade de potássio na água de irrigação pode se estimada por:

$$M_{\mathrm{K_2Oa}} = \frac{V_{ta} \times d_{K_a} \times 0{,}0184}{d_a} \quad (6)$$

em que M_{na} é a quantidade de nutriente na água de irrigação (kg), V_{ta} o volume total de água aplicado por hectare no ciclo da cultura (m^3), d_{na} a disponibilidade de nutriente na água de irrigação (kg m^{-3}), $M_{\mathrm{K_2O}a}$ a quantidade de potássio na água de irrigação (kg), d_{Ka} a disponibilidade de potássio na água de irrigação (cmol$_c$ dm^{-3}) e d_a a densidade da água (g cm^{-3}).

d. Quantidade de nutriente necessária.

$$M_{nn} = \frac{M_{nr} - M_{ns} - M_{na}}{E_{Ff}} \quad (7)$$

em que M_{nn} é a quantidade de nutriente necessária (kg ha^{-1}), M_{nr} a quantidade de nutriente recomendada (kg ha^{-1}), M_{ns} a quantidade de nutriente disponível no solo (kg ha^{-1}), M_{na} a quantidade de nutriente disponível na água de irrigação (kg ha^{-1}) e E_{Ff} a eficiência de fertirrigação (decimal).

As quantidades de nitrogênio e potássio necessárias à fertirrigação podem ser estimadas pelas equações 8 e 9 respectivamente:

$$M_{Nn} = \frac{M_{Nr} - M_{Ns} - M_{Na}}{E_{Ff}} \quad (8)$$

em que M_{Nn} é a quantidade de nitrogênio necessária (kg ha^{-1}), M_{Nr} a quantidade de nitrogênio recomendada (kg ha^{-1}), M_{Ns} a quantidade de nitrogênio disponível no solo (kg ha^{-1}) e M_{Ni} a quantidade de nitrogênio disponível na água de irrigação (kg ha^{-1}).

$$M_{\mathrm{K_2O}n} = \frac{M_{\mathrm{K_2O}r} - M_{\mathrm{K_2O}} - M_{\mathrm{K_2O}a}}{E_{Ff}} \quad (9)$$

em que $M_{\mathrm{K_2O}n}$ é a quantidade de K_2O recomendada (kg ha^{-1}), $M_{\mathrm{K_2O}}$ a quantidade de K_2O disponível no solo (kg ha^{-1}) e $M_{\mathrm{K_2O}a}$ a quantidade de K_2O disponível na água de irrigação (kg ha^{-1}).

Após calculadas as necessidades de nutrientes, selecionam-se os fertilizantes e procede-se aos cálculos das quantidades por setor e por aplicação, o que pode ser feito por meio das equações 10, 11 e 12:

a. Quantidade de fertilizante a aplicar por setor.

$$M_{fs} = \frac{M_{nn} \times A_s}{C_n} \quad (10)$$

em que M_{fs} é a quantidade de fertilizante por setor (kg), A_s a área do setor (ha) e C_n a concentração de nutriente no fertilizante (decimal).

b. Número de aplicações no período do ciclo da cultura.

$$N_a = \frac{n_{dp}}{F} \quad (11)$$

em que N_a é o número de aplicações no período, n_{dp} o número de dias no período e F a frequência da fertirrigação (dias).

c. Quantidade de fertilizantes por aplicação.

$$M_{fa} = \frac{M_{f_s} \times d_{pn}}{N_a} \quad (12)$$

em que M_{fa} é a quantidade de fertilizante por aplicação (kg), M_{fs} a quantidade de fertilizante por setor (kg), d_{pn} a distribuição percentual de nutriente no período (decimal) e N_a o número de aplicações no período.

Ao se conhecer a quantidade de nutrientes a ser aplicada por setor e por aplicação, escolhe-se o fertilizante-fonte e procede-se aos cálculos para determinar o volume de água necessário para preparar a solução na devida concentração. A necessidade de nutrientes pode ser expressa em concentração ou em quantidade por unidade de área ou por planta.

Cálculo da solução com base na quantidade de nutrientes

No caso de a recomendação da aplicação de nutrientes ser feita com base em massa (kg) por hectare, é comum ocorrer duas situações: a) uso de dispositivos de injeção, cuja solução é injetada a partir de tanques hermeticamente fechados, com variação da concentração do nutriente ou fertilizante no seu interior; b) uso de

dispositivos de injeção, cuja solução é injetada a partir de tanques abertos, podendo-se assumir constante a concentração da solução durante a aplicação.

Cálculo da solução utilizando o tanque de derivação de fluxo

Quando a concentração do nutriente no tanque de injeção é variável, como é o caso do tanque de derivação de fluxo, a concentração da solução fertilizante C_t no interior do tanque em qualquer tempo (t) é dada pela equação 13 (SHANI, 1981).

$$C_t = C_o \times e^{-x} \quad (13)$$

em que C_t é a concentração da solução fertilizante no interior (g L^{-1}), C_o a concentração inicial no tanque (g L^{-1}) e x a razão entre o volume que passou pelo tanque (V) e o volume do tanque (V_t) e $x = \frac{V}{V_t}$.

Se a concentração inicial é 100%, a concentração relativa no tanque em um tempo t é determinada por: $C_t = 100\ e^{-x}$.

Recomenda-se que a aplicação esteja concluída quando a concentração de fertilizantes no tanque for menor ou igual a 2%, o que equivale à passagem de um volume de água quatro vezes superior ao volume do tanque: $V = 4V_t$. Essa recomendação, aparentemente simples, pode ser difícil de realizar no campo caso não se disponha de dispositivos que permitam regular a vazão de entrada de água no tanque.

A determinação da vazão de entrada no tanque é feita com base no volume total que passa pelo tanque e no tempo de fertirrigação

estabelecido (equação 14).

$$q_i = V/t \quad (14)$$

em que q_i é a taxa de injeção ou vazão de entrada de água no tanque de derivação de fluxo (L min^{-1}).

Exemplo 1

Determinar a taxa de injeção de solução na linha de irrigação (q_i) necessária para realizar a fertirrigação em 40 minutos, com um tanque de derivação de fluxo de volume (V_t) = 200 L. Considerar a concentração final no tanque de 2%.

O volume de água que passa pelo tanque de derivação levando o nutriente para a linha de irrigação, é calculado da seguinte forma:

$2 = 100\ e^{-x}$ $\quad x = ln\ 50 = 3{,}912,$

como $x = \frac{V}{V_t}$, assim: $V = x\ V_t \quad \rightarrow \quad V = 3{,}912 \times 200 = 782{,}4$ L

Sendo V o volume de solução aplicado em 40 minutos, a taxa de injeção é dada por:

$q_i = V/t \quad \rightarrow \quad q_i = 782{,}4/40 = 19{,}56$ L min^{-1}

Assim, o sistema deve ser calibrado para que a entrada de água no tanque de derivação de fluxo seja q_i = 19,56 L min^{-1}.

Cálculo da solução utilizando outros injetores

Se a injeção for feita a partir de um tanque aberto, com uso de uma bomba de injeção de solução de fertilizantes de pressão positiva ou negativa (Figura 2), é necessário o cálculo da massa de fertilizante a ser diluída no tanque ou recipiente para o preparo da solução

fertilizante. Para proceder aos cálculos, é necessário conhecer a vazão da bomba de injeção da solução de fertilizantes e do sistema de irrigação, bem como as concentrações dos fertilizantes na água de irrigação antes e depois da adição dos fertilizantes ao sistema de irrigação.

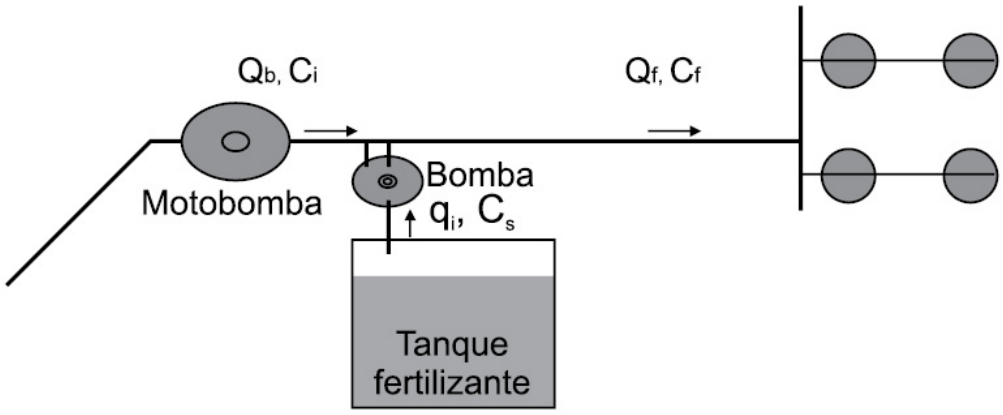


Figura 2. Injeção e distribuição da solução fertilizante no sistema de irrigação.

Procedimento 1

Esse procedimento parte da existência de um tanque de volume (V_t) conhecido. Uma vez obtida a quantidade de fertilizante a ser adicionada ao tanque, resta saber se o tanque disponível é suficiente para conter toda a solução a ser usada ou se será necessário mais de um tanque de fertilizante.

As equações 15, 16 e 17 determinam o procedimento de cálculo da concentração da solução fertilizante (COELHO, 2002).

$$Q_f \text{ x } C_f = Q_b \text{ x } C_i + q_i \text{ x } C_s \quad (15)$$

$$C_s = \frac{Q_f \times C_f - Q_b \times C_i}{q_i} \quad (16)$$

em que Q_b é a vazão do sistema de irrigação que sai da bomba (L h^{-1}), C_i a concentração da água aduzida para irrigação (g L^{-1}), q_i a vazão de injeção da solução (L h^{-1}), C_s a concentração da solução fertilizante no tanque (g L^{-1}), Q_f a vazão final do sistema de irrigação (L h^{-1}) e C_f a concentração final da água na saída dos emissores (g L^{-1}).

Se a concentração da água de irrigação aduzida da fonte for desprezada, C_i = 0, a concentração da solução (C_s) pode ser determinada pela equação 17.

$$C_s = \frac{Q_f \times C_f}{q_i} \quad (17)$$

A quantidade de fertilizante a ser diluída no tanque de solução é função da vazão do sistema (Q_b), da vazão ou taxa de injeção da solução fertilizante (q_i), podendo ser determinada pela equação 18.

$$M_{fd} = \frac{10^{-3} Q_f \times C_f \times V_t}{q_i \times C_n} \quad (18)$$

em que M_{fd} é a quantidade de fertilizante a ser diluída (kg), V_t o volume do tanque (L) e C_n a concentração do nutriente no fertilizante (decimal).

Se a concentração inicial de nutrientes da água de irrigação (C_i) for considerada, o cálculo da concentração do nutriente na solução de fertilizantes deve ser dado a partir da equação19 e a concentração da solução fertilizante será dada pela equação 20.

$$Q_f \text{ x } C_f = (Q_f - q_i)\, C_i + q_i \text{ x } C_s \quad (19)$$

$$C_s = \frac{Q_f \times C_f - (Q_f - q_i)\, C_i}{q_i} \quad (20)$$

A quantidade de fertilizante a ser diluída no tanque de solução (kg) pode ser calculada pela equação 21.

$$M = \frac{10^{-3}\, (C_s - C_i)\, V_t}{C_n} \quad (21)$$

Para se saber o número de tanques a ser usado, deve-se conhecer a quantidade total de nutriente a ser usada por área, a área total a ser fertirrigada, a concentração do nutriente no fertilizante e a massa do nutriente na solução de fertilizantes, e aplicar a equação 22.

$$N_t = \frac{M_n \times A_t}{C_n \times M} \quad (22)$$

em que N_t é o número de tanques, M_n a quantidade total de nutriente a ser usada por área (kg ha^{-1}), A_t a área total a ser fertirrigada (ha), C_n a concentração do nutriente no fertilizante (decimal) e M a quantidade do nutriente na solução de fertilizantes (kg).

Exemplo 2

Um produtor rural tem uma área de 3 ha (setor único) cultivada com fruteira irrigada por microaspersão. Para uma determinada fase da cultura, a quantidade de nitrogênio por aplicação é 1,8 kg ha^{-1}. Sabendo-se que a vazão do sistema de irrigação Q_b = *50.000 L h*$^{-1}$, a concentração de nitrogênio na saída do emissor C_f = *10 mg L*$^{-1}$, a vazão de injeção da solução na linha de irrigação q_i = *30 L h*$^{-1}$, o

tanque de volume V_t = *120 L* e o fertilizante a ser usado é ureia com 46% de nitrogênio, calcular a quantidade de ureia a ser dissolvida no tanque, a concentração de ureia no tanque e o número de tanques de V_t = *120 L* necessários para diluir e aplicar a quantidade de ureia calculada.

Pela equação 18, a quantidade de ureia a ser diluída em um tanque de 120 L será:

$$M = \frac{10^{-3} \times 50.000 \times 0{,}01 \times 120}{30 \times 0{,}46} \quad \rightarrow \quad M = 4.348 \text{ g} \qquad M = 4{,}35 \text{ kg de ureia}$$

A concentração de ureia no tanque com capacidade de 120 L de água será:

$$C_u = \frac{4.348}{120} \quad \rightarrow \quad C_u = 36{,}23 \text{ g L}^{-1}$$

Pela equação 22, o número de tanques de 120 L necessários à aplicação da ureia será:

$$N_t = \frac{1{,}8 \times 3}{0{,}46 \times 4{,}35} \quad \rightarrow \quad N_t = 3 \text{ tanques de 120 L}$$

Procedimento 2

Neste procedimento, para preparar a solução de fertilizantes, é preciso conhecer a quantidade de fertilizante por aplicação, a taxa de injeção, a razão de injeção, a vazão do sistema de irrigação, o tempo de fertirrigação, a concentração inicial da solução no tanque e a concentração final na água de irrigação. De acordo com Sousa et al. (1999) e Sousa e Coelho (2001), a quantidade de fertilizante por aplicação, a taxa de injeção, a concentração final na água de

irrigação e a concentração inicial da solução no tanque podem ser determinadas pelas equações 11, 23, 24 e 17 respectivamente.

$$qi = ri \times Q_b \quad (23)$$

$$C_f = \frac{M_{f_a}}{Q_b \times T_f} \quad (24)$$

em que M_{fa} é a quantidade de fertilizante a ser aplicada em uma dada área ou setor (kg), q_i a vazão de injeção, r_i a razão de injeção, Q_b a vazão do sistema de irrigação (L h^{-1}), T_f o tempo de fertirrigação adotado (h) e C_f a concentração final na água de irrigação (g L^{-1}).

O volume de água necessário para diluir o fertilizante é obtido a partir da concentração da solução a ser injetada (equação 25).

$$V = \frac{M_{fa}}{C_s} \quad (25)$$

em que V é o volume de água necessário para preparar a solução (L).

O volume do tanque deve ser o volume comercial mais próximo e superior ao volume da solução calculado.

A aplicação da solução de fertilizantes na linha de irrigação pode ser iniciada tão logo todo o sistema esteja em pleno funcionamento, com todas as linhas cheias de água. Recomenda-se, quando possível, um intervalo próximo de 15 minutos entre o início da irrigação e o início da fertirrigação para permitir o enchimento das tubulações e a estabilização da pressão e vazão dos emissores. No

final da fertirrigação, é necessário continuar a irrigação por, pelo menos, o mesmo tempo entre o início da irrigação e o início da fertirrigação, para que todo o fertilizante seja expulso da tubulação e dos emissores, ficando completamente limpos dos produtos aplicados.

De posse da quantidade de adubo e do volume da solução no tanque de injeção, é necessário verificar se a solubilidade obtida é igual ou inferior à solubilidade do fertilizante. Como exemplo, a solubilidade da ureia é 78%. Isso significa que 78 kg de ureia são dissolvidos em 100 L de água ou 780 g de ureia são solubilizados em 1 L de água.

Cálculo da solução quando a quantidade de nutrientes é expressa em concentração

Quando, na recomendação de adubação, a quantidade de nutrientes for expressa em concentração, na unidade de ppm (partes por milhão) ou mg L^{-1}, o procedimento de cálculo parte dessa concentração, que é aquela na saída do emissor. Nesse caso, conhecendo-se o tipo de nutriente, a dose requerida por aplicação (concentração final) e a sua fonte, a vazão do sistema de irrigação, a razão de injeção e o tempo de fertirrigação, o cálculo para preparar a solução inicial pode ser feito adotando-se a sequência de equações: 23, 17, 26, 27 e 28 (COELHO, 2002).

- Vazão de injeção.

$q_i = r_i \times Q_b$

- Concentração da solução inicial no tanque.

$$C_s = \frac{Q_f \times C_f}{q_i}$$

- Volume de água aplicado durante a fertirrigação.

$$V = Q_f \times T_f \quad (26)$$

- Quantidade de fertilizante por aplicação.

$$M_{fa} = C_f \times V \quad (27)$$

- Volume de água necessário para preparar a solução no tanque.

$$V_s = \frac{M_{f_a}}{C_s} \quad (28)$$

em que q_i é a vazão de injeção (L h^{-1}), r_i a razão de injeção, Q_f a vazão final do sistema de irrigação (L h^{-1}), C_f a concentração da água na saída dos emissores (g L^{-1}), C_s a concentração da solução fertilizante no tanque (g L^{-1}), V_s o volume de água para preparar a solução no tanque (L), M_{fa} a quantidade de fertilizante por aplicação (g), V o volume de água total aplicado durante a fertirrigação (L) e T_f o tempo de fertirrigação (h).

A determinação da quantidade de fertilizantes (M_{fa}) é feita transformando-se os valores da concentração C_s em massa de fertilizantes (g), como mostra a sequência do Exemplo 3 e auxilia a Tabela 7, que apresenta os fatores de transformação do nutriente no composto-fonte ou vice-versa.

Tabela 7. Fatores de conversão para os sais fertilizantes.

A	B	Fatores de conversão	
Nutriente	**Fonte de nutrientes**	**A → B**	**B → A**
Nitrogênio (N)	Nitrato – NO_3	4,429	0,226

	Nitrato de potássio – KNO_3	7,221	0,1385
	Nitrato de cálcio – $Ca(NO_3)_2$	5,861	0,171
	Sulfato de amônio – $(NH_4)_2SO_4$	4,721	0,212
	Nitrato de amônio – NH_4NO_3	2,857	0,350
Fósforo (P)	Anidrido fosfórico – P_2O_5	2,292	0,436
	Ácido fosfórico – H_3PO_4	3,164	0,316
	Fosfato – PO_4	3,066	0,326
Potássio (K)	Potássio – K_2O	1,205	0,830
	Nitrato de potássio – KNO_3	2,586	0,387
	Cloreto de potássio – KCl	1,907	0,524
	Sulfato de potássio – K_2SO_4	2,229	0,449
Cálcio (Ca)	Óxido de cálcio – CaO	1,399	0,715
	Nitrato de cálcio – $Ca(NO_3)_2$	4,094	0,244
	Cloreto de cálcio – $CaCl_26H_2O$	5,467	0,183
	Sulfato de cálcio – $CaSO_4$	-	-
Magnésio (Mg)	Óxido de magnésio – MgO	1,658	0,603
	Sulfato de magnésio – $MgSO_47H_2O$	10,14	0,0986
Enxofre (S)	Ácido sulfúrico – H_2SO_4	3,059	0,327
	Sulfato de amônio – $(NH_4)_2SO_4$	4,124	0,2425
	Sulfato de potássio – K_2SO_4	5,437	0,184
	Sulfato de magnésio – $MgSO_47H_2O$	7,689	0,130
	Sulfato de cálcio – $CaSO_4$	5,371	0,186

Fonte: Resh (2001).

Exemplo 3

Deseja-se aplicar via fertirrigação 300 mg L^{-1} de Ca. Determinar a quantidade de $Ca(NO_3)_2$ necessária para fornecer a quantidade de cálcio, considerando-se $ri = 0{,}01$, $Q_f = 5.000$ L h^{-1} e $T_f = 1$ h.

$q_i = 0{,}01 \times 5.000 \quad \rightarrow \quad q_i = 50$ L h^{-1}

$V = 5.000 \times 1 \quad \rightarrow \quad V = 5.000\ \text{L}$

Determinação da concentração de $Ca(NO_3)_2$.

$C_{Ca(NO_3)_2} = Mg \times f$

em que f é o fator de conversão (Tabela 5).

$C_{Ca(NO_3)_2} = 300 \times 4{,}094 \quad \rightarrow \quad C_{Ca(NO_3)_2} = 1.228{,}2\ \text{mg L}^{-1}$ de $Ca(NO_3)_2 = 1{,}2282\ \text{g L}^{-1}$

$$C_s = \frac{1{,}228 \times 5.000}{50} \quad \rightarrow \quad C_s = 122{,}82\ \text{g L}^{-1}$$

Determinação da quantidade de Ca $(NO_3)_2$ [$M_{Ca(NO_3)_2}$].

$M_{Ca(NO_3)_2} = C_{Ca(NO_3)_2}\ V$

$M_{Ca(NO_3)_2} = 1{,}2282 \times 5.000 = 6.140$ g de $Ca(NO_3)_2$

Assim, o volume necessário para preparar a solução será:

$$V = \frac{6.141}{122{,}82} \quad \rightarrow \quad V = 50\ L$$

No cálculo da massa de uma fonte de nutrientes, é necessário saber a pureza do fertilizante. A Tabela 8 apresenta as porcentagens de pureza de algumas fontes de nutrientes. No exemplo, a massa de $Ca(NO_3)_2$ será de 6.140/0,95 = 6.463 g.

Tabela 8. Porcentagem de pureza de algumas fontes de nutrientes.

Fonte de nutrientes	Pureza (%)
Nitrato de potássio (KNO_3)	95
Nitrato de cálcio $Ca(NO_3)_2$	95
Sulfato de amônio $NH_4(SO_4)$	94

Nitrato de amônio NH_4NO_3	98
Cloreto de potássio KCl	95
Sulfato de potássio K_2SO_4	90
Cloreto de cálcio $CaCl_26H_2O$	75
Sulfato de amônio $NH_4(SO_4)$	94

Fonte: Resh (2001).

Referências

ALARCON, A. L. Fertilizantes para fertirrigación: tablas prácticas orientativas. In: NAMESNY, A. **Melones**. Barcelona: Ediciones de Horticultura, 1997. 277 p.

BURT, C. M.; O´CONOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Irrigation Training and Research Center-California Polytechnic State University, 1995. 295 p.

CADAHIA LÓPEZ, C.; EYMAR ALONSO, E. Cálculo y preparación de disoluciones fertilizantes. In: CADAHIA, C. **Fertirrigacion**: cultivos hortícola y ornamentales. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1998. 475 p.

COELHO, E. F. Cálculo e preparo da solução de fertilizantes. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 54-67.

COELHO, E. F.; BORGES, A. L.; SOUSA, V. F. de; OLIVEIRA, A. S. de; AGUIAR NETTO, A. de O. **Irrigação e fertirrigação da mangueira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 26 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 39).

DOMINGUEZ VIVANCOS, A. **Fertirrigacion**. 2a. ed. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1996. 233 p.

EGREJA FILHO, F. B.; MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C. de. Método computacional para correção da alcalinidade de águas para fertirrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 415-423, 1999.

LANDIS, T. D. Mineral nutrients and fertirrigation. In: LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E.; BARNETTM, J. P. **The container tree nursery manual.** Washington, DC.: Department of Agriculture, Forest Service, 1989. p. 1-67.

MONTAG, U. J. Fertigation in Israel. In: AGRICULTURAL CONFERENCE ON MANAGING PLANT NUTRITION, 1999. Barcelona. **Proceedings**... Barcelona: IFA, 1999. 24 p.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-154.

RESH, H. M**. Hydroponic food production**. 6. ed. Santa Barbara: Woodbridge Press, 2001. 567 p.

SHANI, M. **La fertilizacion combinada con el riego**. Telaviv: Ministerio de Agricultura de Israel, 1983. 36 p.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; RESENDE, R. S. (Org). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Bento Gonçalves: Guaíba: Agropecuária Ltda, 2001. v. 2., p. 289-317.

SOUSA, V. F. de; PINTO, J. M.; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 43-53.

SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E. F.; VIANA, F. M. P.; SILVA, P. H. S. da. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigacao por gotejamento no meio-norte do Brasil.** Teresina: Embrapa Meio Norte, 1999. 68 p. (Embrapa Meio Norte. Circular Técnica, 21).

VIEIRA, R. F.; RAMOS, M. M. Fertirrigação. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

Capítulo 9

Métodos e equipamentos para fertirrigação

Otávio Alvares de Almeida
Valdemício Ferreira de Sousa
Braz Henrique Nunes Rodrigues
Francisco José de Seixas Santos

Introdução

O princípio de aplicação da fertirrigação preconiza o uso de fertilizantes solúveis em água e de equipamentos específicos para injetar a solução nas linhas de irrigação. Essa característica permite uma aplicação adequada e uniforme de fertilizantes com a água de irrigação (SOUSA; SOUSA, 1993). Além disso, possibilita o acompanhamento e o controle dos nutrientes no perfil do solo e seus efeitos na interface solo, água e planta.

A incorporação de adubo ao solo efetua-se mediante dispositivos que se situam normalmente no cabeçal de controle, se bem que também podem ser instalados nas cabeceiras das unidades operativas de irrigação, quando existem vários cultivos na mesma propriedade ou estes se encontram dispersos. Esses equipamentos também podem ser utilizados para incorporar à água de irrigação outras substâncias, como corretivos químicos, nematicidas,

pesticidas, etc. Em todos os casos, deve-se instalar um filtro de tela ou de disco após o dispositivo de fertirrigação utilizado, para evitar que passem para a rede de irrigação as possíveis impurezas contidas nos fertilizantes.

Pode-se utilizar qualquer método de irrigação para aplicar fertilizantes. Todavia, os sistemas pressurizados são os mais indicados para fertirrigação, destacando-se a irrigação localizada, especialmente por gotejamento (ABREU et al., 1987; BRESLER, 1977; GOLDBERG; SHMUELI, 1970), dadas suas características e forma de aplicação de água pontual junto da zona de concentração das raízes das plantas. A utilização desse método de irrigação promove a melhoria da eficiência do uso dos fertilizantes, reduz as perdas dos fertilizantes por lixiviação, melhora o controle da concentração de nutrientes no solo (BRESLER, 1977) e economiza mão de obra e energia. Existem ainda vários outros aspectos favoráveis à aplicação de fertilizantes por meio dos sistemas de irrigação localizada, todavia, o mais importante é que a aplicação seja feita de forma correta, a fim de evitar obstruções na tubulação e nos emissores (SOUSA; SOUSA, 1993), as quais podem reduzir a uniformidade de aplicação de água para valores abaixo de 80%, que é, segundo Threadgill (1985), inaceitável na prática da fertirrigação.

O método de irrigação, o manejo da fertirrigação e o equipamento de injeção de fertilizante, bem como as doses de fertilizantes mais adequadas, são dependentes da cultura trabalhada, das características do solo e da água de irrigação.

Injeção de fertilizantes

Qualquer sistema que se escolha para injetar o fertilizante nas tubulações de irrigação requer um reservatório de qualidade adequada para conter produtos químicos e um sistema de agitação desses produtos. Esses devem resistir à pressão e à corrosão causada pelos fertilizantes e ter capacidade de 50 L a 1.000 L. O volume mínimo do reservatório deve ser suficiente para a fertirrigação de uma subunidade, sem que se requeira o reabastecimento. O volume do reservatório calcula-se da seguinte forma:

$$V = \frac{n \times Q \times A}{sol} \quad (1)$$

em que V é o volume adequado do reservatório (m^3), n o número de aplicações entre recargas, Q a quantidade de fertilizantes (kg ha^{-1}), A a área a fertirrigar (ha) e sol a solubilidade do fertilizante (kg m^{-3}).

Antes de iniciar a aplicação, deve-se agitar a solução injetora para que se homogeneíze e evite que o equipamento de injeção de fertilizante aspire as impurezas do fundo do reservatório, permanecendo o processo de agitação durante toda a aplicação.

Recomenda-se que a aplicação de fertilizante comece quando a pressão do sistema de irrigação estiver estabilizada e que termine um quarto do tempo antes do fim da irrigação e não menos de 15 minutos antes que a água deixe de sair pelo emissor mais afastado do injetor de fertilizante. Esse procedimento tem a finalidade de lavar os produtos químicos da tubulação e de evitar sua precipitação.

Métodos de injeção de fertilizantes

Existem diversos métodos de injeção de fertilizantes via água de irrigação, os quais podem ser agrupados em cinco categorias: a) diferencial de pressão; b) pressão negativa; c) transformação de energia (venturi); d) pressão positiva (bombas volumétricas ou de deslocamento positivo); e) método combinado ou composto (COSTA et al., 1986; COSTA; BRITO, 1994).

Diferencial de pressão

O método diferencial de pressão baseia-se na utilização da pressão negativa ocorrida no corpo da bomba centrífuga e/ou no aproveitamento da própria energia positiva gerada pelo sistema de bombeamento. As duas formas clássicas de utilização desse método são os tanques de derivação de fluxo e os sistemas que injetam a solução fertilizante diretamente na sucção da bomba centrífuga do sistema de irrigação.

O tanque de derivação de fluxo ou tanque fertilizante consiste em um depósito onde se coloca a solução que se pretende incorporar ao solo, o qual, uma vez fechado, alcança em seu interior a mesma pressão da rede de irrigação. Por isso, o tanque deve ser capaz de suportar a pressão estática e dinâmica da rede. O normal é que resista a cerca de 300 kPa, no mínimo, ainda que se recomende e que suporte uma pressão de trabalho de cerca de 600 kPa (LOPEZ et al., 1997). Geralmente, é metálico embora existam modelos em plástico reforçado com fibra de vidro. Em quaisquer dos casos, deve ser capaz de suportar a ação corrosiva das substâncias utilizadas.

Seu volume varia entre 20 L e 200 L e o dimensionamento pode ser calculado segundo Keller e Karmeli (1975):

$$V = \frac{C_i \times As}{C_f} \quad (2)$$

em que V é o volume do tanque de fertilizante (L), C_i a quantidade de nutrientes a ser aplicada por irrigação (kg ha^{-1}), As a área que o sistema irriga por vez (ha) e C_f a concentração do fertilizante (kg L^{-1}).

Esses dispositivos são colocados em paralelo em relação à tubulação de irrigação. A diferença de pressão, da ordem de 10 kPa e 50 kPa, entre a entrada e a saída do tanque fertilizante, causadora do fluxo através 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 (Figura 1).

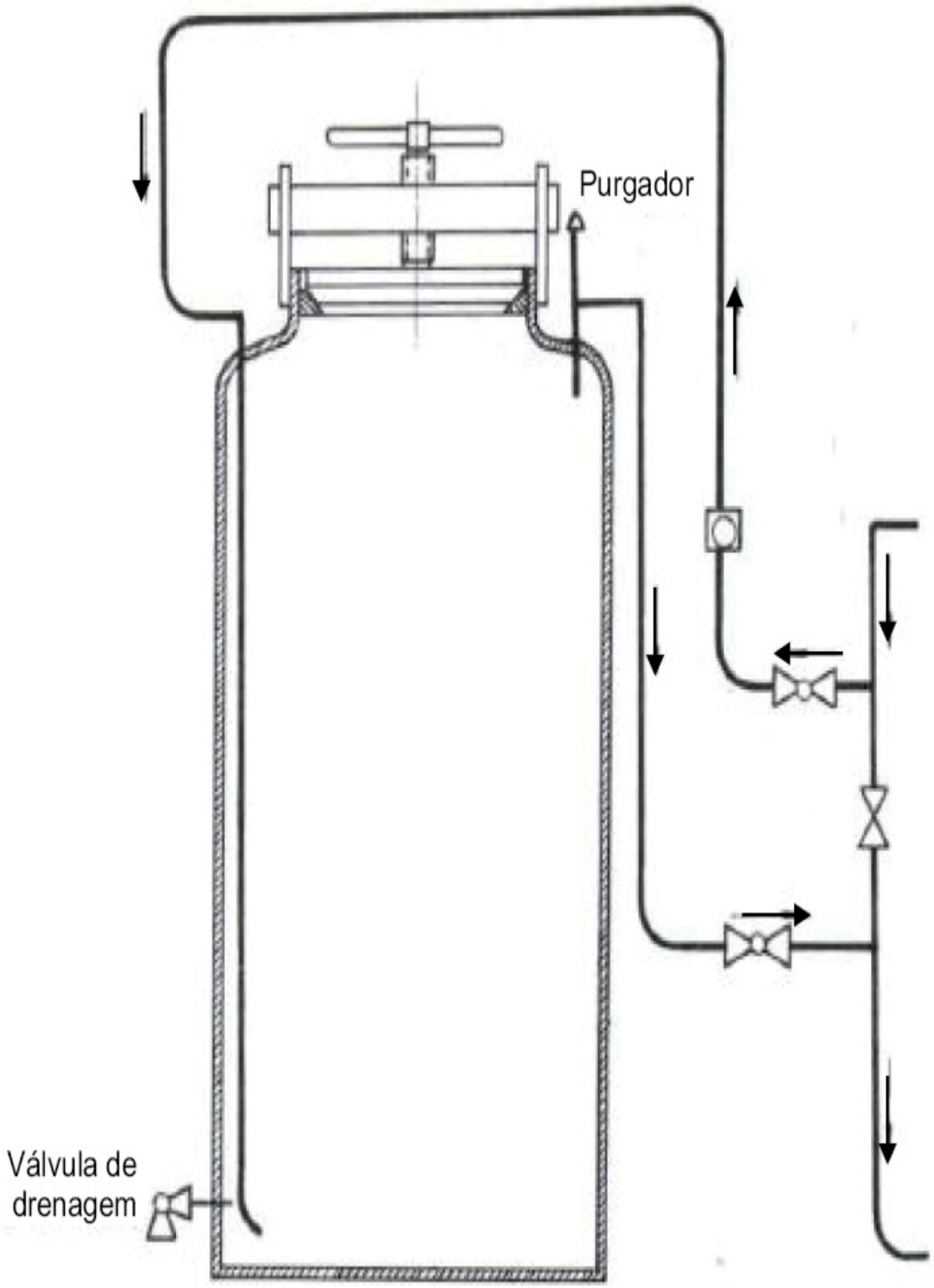


Figura 1. Tanque de derivação de fluxo para injeção de fertilizantes.

Fonte: adaptado de Lopez et al. (1997).

Para o seu funcionamento, adiciona-se água até a metade da capacidade do tanque. Em seguida, acrescenta-se o adubo dissolvido e fecha-se hermeticamente a tampa. Para a injeção do fertilizante na tubulação de irrigação, fecha-se o registro da linha principal para que parte da água destinada à irrigação passe pelo tanque. Quanto mais o registro é fechado, maior será a quantidade de água que deriva e, ao contrário, fechando-se muito pouco, a derivação será menor e o fertilizante passará pouco a pouco à tubulação, sendo mais uniforme a distribuição.

Em alguns modelos, a água entra pela parte inferior do tanque, gerando um redemoinho e misturando-se bem com o fertilizante, e sai pela parte superior (Figura 2).

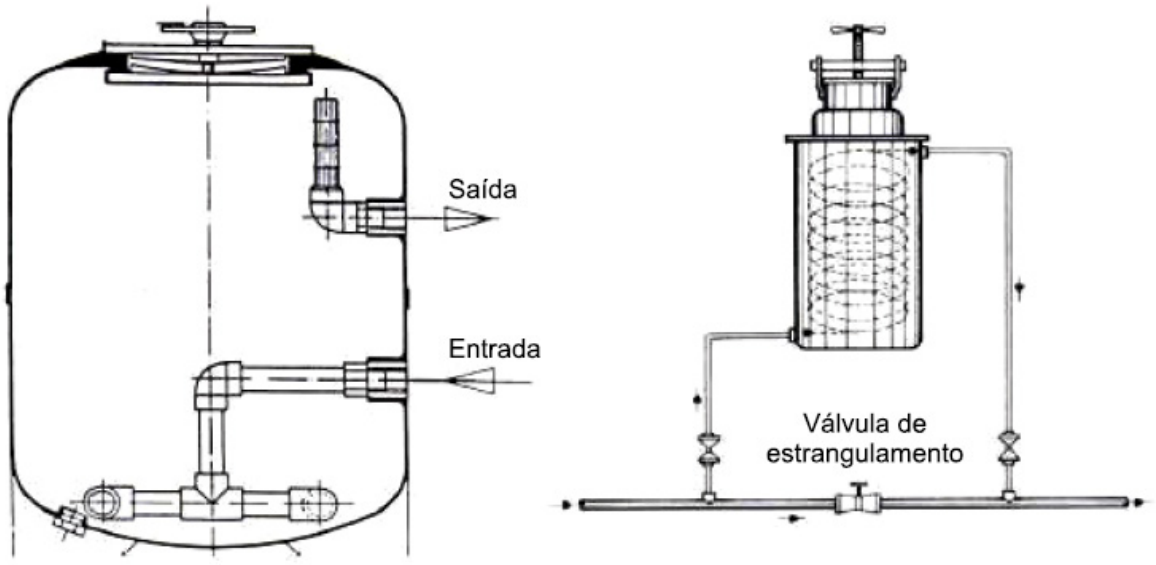


Figura 2. Tanques de derivação de fluxo para injeção de fertilizantes com entrada pela parte inferior.

Fonte: Moya Talens (1998).

Como a vazão de água que entra no tanque é igual à vazão da solução fertilizante que sai dele, é evidente que a solução fertilizante que fica no tanque vai diluindo-se com o tempo de funcionamento e a concentração da solução que se incorpora à rede também vai diminuindo.

Esse é um inconveniente importante se o adubo contido no tanque está programado para ser utilizado em duas ou mais unidades operacionais de irrigação, pois cada uma receberia uma quantidade diferente de fertilizante. Por isso, recomenda-se utilizar uma recarga para cada unidade operacional mesmo que o volume do tanque permita uma quantidade maior de fertilizantes por vez.

A quantidade de fertilizante (C) que permanece no interior do tanque, depois de transcorrido um tempo (T), é dada pela equação 3.

$$C = C_0 \times e^{\frac{-qT}{V}} \quad (3)$$

em que C_0 é a quantidade inicial de fertilizante, q o fluxo que circula através do tanque (L h^{-1}), V o volume do tanque (L) e T o tempo transcorrido de aplicação (h).

De acordo com a equação 3, quando houver circulado pelo tanque um volume de água igual a sua capacidade (1 ciclo, $q \times T = V$), a quantidade de fertilizante que permanecerá no interior do tanque (C) será de aproximadamente 37% (e^{-1} = 0,3679) da quantidade inicial (C_0), ou seja, haverá sido incorporado ao solo aproximadamente 63% do fertilizante contido inicialmente no tanque. Quando circularem dois volumes do tanque (2 ciclos, $q \times T = 2V$), a quantidade incorporada será de 86% (e^{-2} = 0,1353); se forem três, a

incorporação será de 95%; e quando houverem circulado quatro ciclos, a quantidade incorporada supõe-se de 98% do fertilizante inicial (Figura 3).

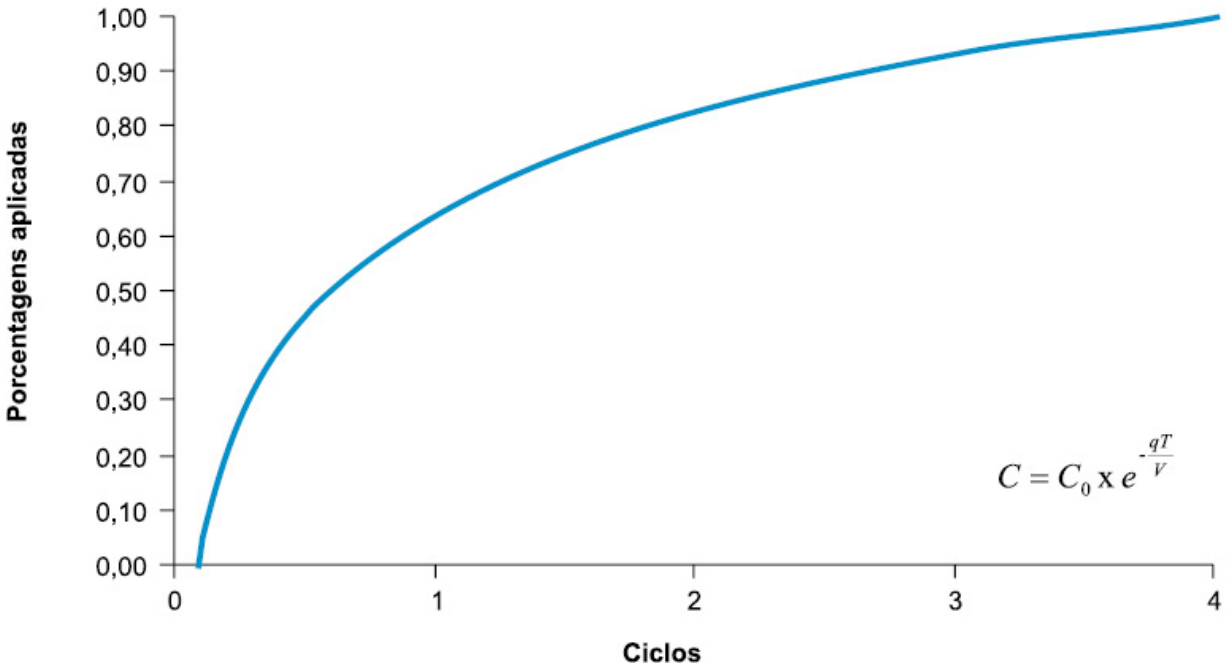


Figura 3. Porcentagem de fertilizante aplicado por ciclo de água que passa no interior de um tanque de fertirrigação de derivação de fluxo (1 ciclo = volume do tanque).

Na prática, a concentração de fertilizante restante no tanque ao final da fertirrigação deve ser inferior a 2%. O tempo transcorrido pode ser calculado pela equação 4.

$$T = - \frac{V}{q} \times ln \frac{C}{C_0} \quad (4)$$

A vazão, q (L h^{-1}), que deve passar através do tanque para aplicar todo o fertilizante, ou seja, para quatro ciclos, pode ser obtida pela equação 5.

(5)

$$q = \frac{4V}{tr \times ta}$$

em que o produto $tr \times ta$ é igual ao tempo útil de aplicação de fertilizante, sendo tr a relação entre o tempo de aplicação de fertilizante e o tempo de aplicação da irrigação, usualmente 0,8 (KELLER; KARMELI, 1964 citados por LOPEZ, 1998), para permitir a lavagem da instalação, e ta o tempo de aplicação da irrigação (h).

Assim, o tempo mínimo de aplicação da irrigação, quando se está fazendo fertirrigação, pode ser determinado pela equação 6.

$$ta = \frac{5V}{q} \quad (6)$$

Existem algumas adaptações a esse método, como a utilização de um latão de leite metálico para funcionar como tanque de derivação de fluxo, com a vantagem de ser facilmente encontrado no comércio e apresentar baixo custo (ANDRADE; GORNAT, 1992; COSTA; BRITO, 1988). O tanque desenvolvido e calibrado por Andrade e Gornat (1992), Figura 4, apresenta vantagens em relação ao proposto por Costa e Brito (1988), no que diz respeito à confecção de uma tampa mais larga em substituição à original, facilitando a operação de preparo da solução e limpeza do tanque. Além disso, apresenta um novo sistema de entrada e saída de água, que proporciona uma melhor mistura, dissolução da solução fertilizante e expulsão do ar.

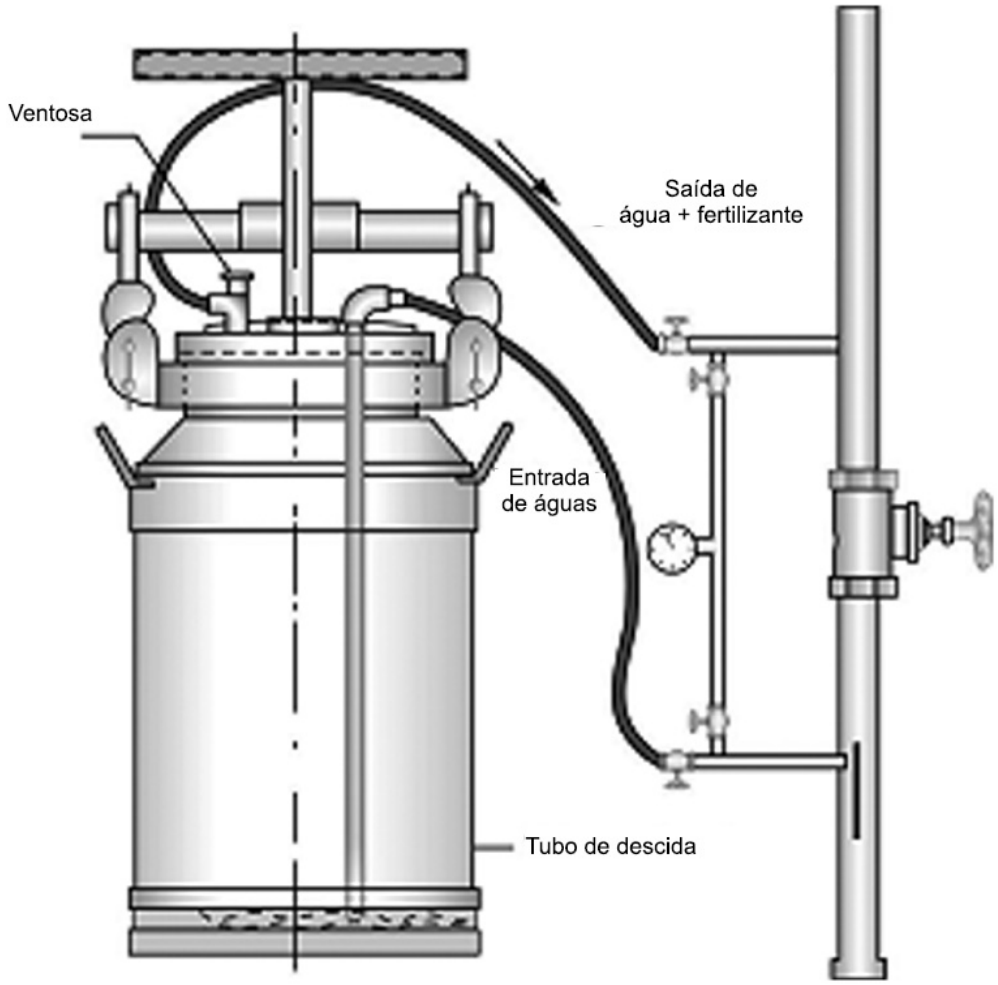


Figura 4. Detalhe da instalação do tanque de fertirrigação de derivação de fluxo na linha de irrigação.

Fonte: adaptado de Andrade e Gornat (1992).

Também existem no mercado tanques fertilizantes providos, em seu interior, de uma bolsa de borracha muito flexível, dentro da qual se coloca a solução fertilizante (Figura 5). Dessa maneira, evita-se a mistura da água de irrigação com a solução dentro do tanque. Portanto, a solução fertilizante não se dilui e é impulsionada pela ação da água de irrigação, que pressiona a parede externa da bolsa plástica, forçando a introdução da solução no fluxo da linha de

irrigação por meio de um bocal e mantendo constante a concentração (COSTA; BRITO, 1994).

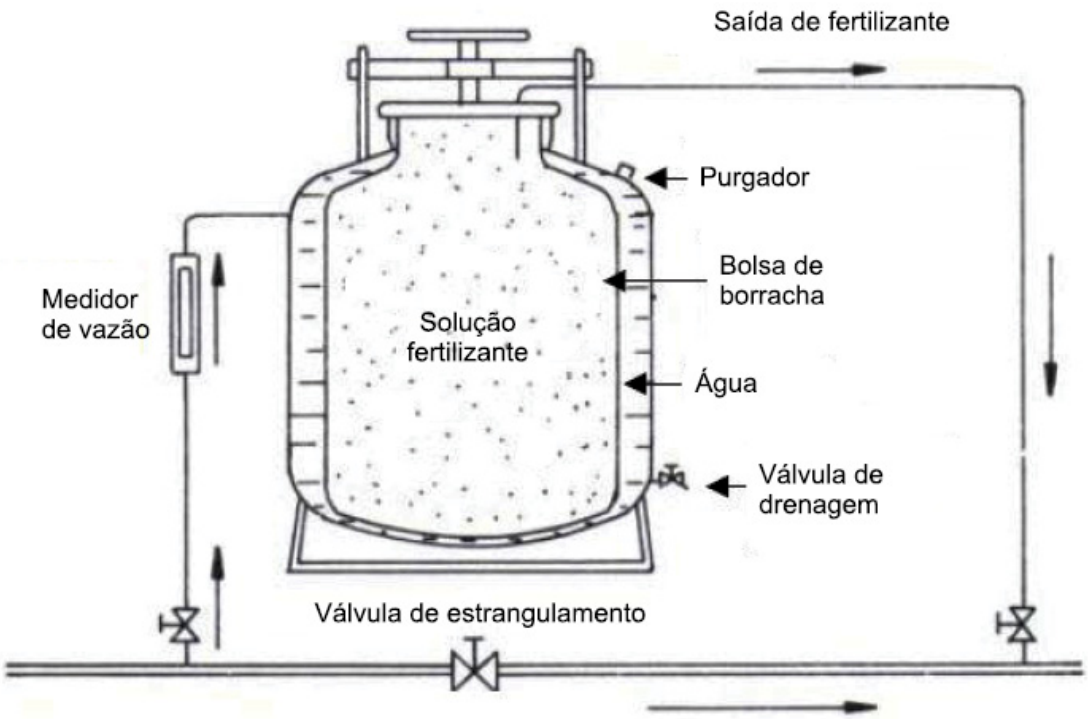


Figura 5. Tanque de derivação de fluxo de concentração constante, com bolsa de borracha flexível.

Fonte: adaptado de Lopez et al. (1997).

Pressão negativa

Nesse método, a injeção da solução fertilizante na linha de irrigação é feita ao se utilizar a pressão negativa ou o vácuo criado no interior da tubulação de sucção da unidade de bombeamento (Figura 6). A calibração e o controle da entrada da solução fertilizante são efetuados mediante um registro, que permite a entrada de maior ou menor quantidade da solução contida no reservatório de dissolução,

cujo volume introduzido é controlado por um hidrômetro (COSTA; BRITO, 1994).

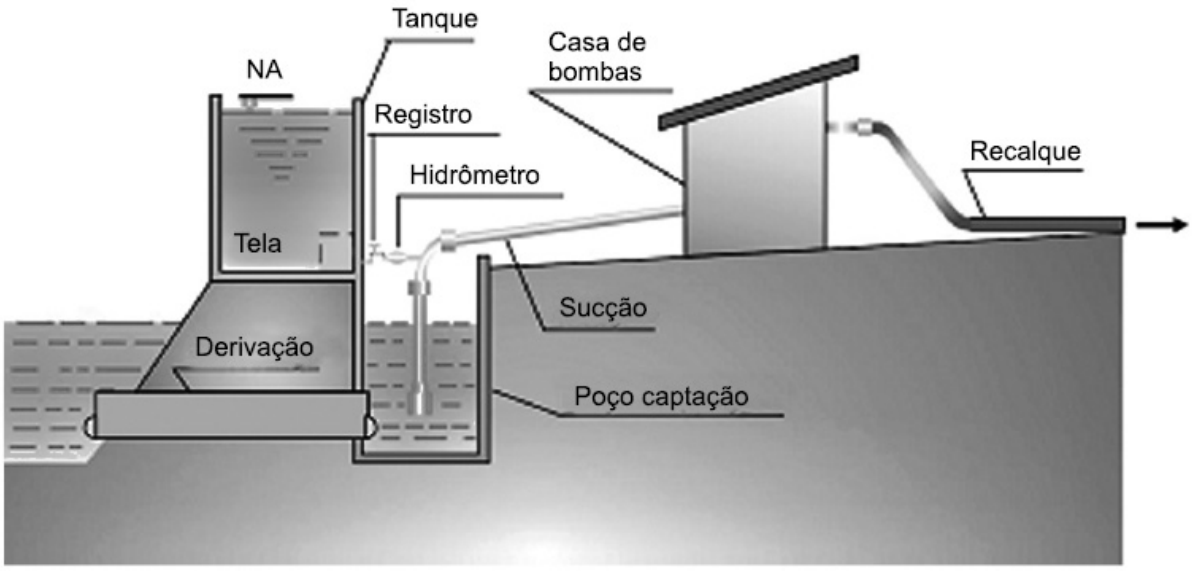


Figura 6. Esquema de um sistema de injeção por pressão negativa.

Fonte: adaptado de Costa e Brito (1994).

Esse tipo de instalação, sempre que possível, deve ser evitado uma vez que apresenta diversos inconvenientes e limitações, além das opções de métodos mais simples e operacionalmente menos agressivos ao meio ambiente. No que se refere ao aspecto ambiental, há limitações do método em razão do risco elevado de contaminação da fonte de água pela solução fertilizante, por causa do refluxo ocasionado por uma eventual parada do sistema de bombeamento. Outro ponto negativo do método é o desgaste que as soluções fertilizantes altamente corrosivas provocam nas partes internas da bomba centrífuga, que apresenta, em sua maioria, rotor metálico.

Transformação de energia

Esse método baseia-se no princípio da transformação de formas de energia, ou seja, a energia de velocidade da água dentro da tubulação transforma-se em energia de pressão, favorecendo a injeção de líquido fertilizante na rede hidráulica. A aplicação desse método requer a utilização de peças ou equipamentos especiais acoplados na tubulação principal do sistema de irrigação, sendo o venturi o mais comum e mais utilizado.

Injetor tipo venturi

Ao contrário do tanque diferencial de pressão, a concentração da solução fertilizante que passa pelo injetor tipo venturi é constante no decorrer do tempo de aplicação. Seu princípio de funcionamento consiste no estrangulamento do fluxo da água de irrigação, de modo a provocar um aumento muito grande da sua velocidade, criando-se uma pressão negativa que provoca a aspiração da solução fertilizante (existente em um depósito à pressão atmosférica) e sua injeção na rede (ALMEIDA, 2002). Na Figura 7, apresentam-se os detalhes do sistema hidráulico de um venturi, partindo do princípio de que a vazão no ponto 1 é igual à vazão no ponto 2, de acordo com a equação da continuidade:

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (7)$$

em que Q é a vazão da linha de irrigação ($m^3\ s^{-1}$), A a área da seção transversal da tubulação (m^2) e V a velocidade do fluxo da água ($m\ s^{-1}$).

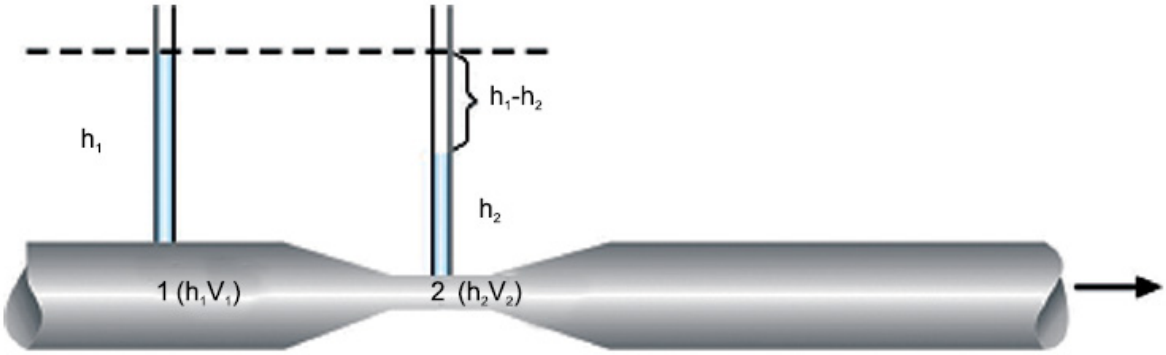


Figura 7. Detalhe do sistema hidráulico de um venturi.

Fonte: adaptado de Costa e Brito (1994).

A área A_1 (tubulação) é bastante superior à área A_2 (venturi). Para que a equação da continuidade seja observada, é necessário que a velocidade do fluxo V_2 seja superior à velocidade do fluxo V_1 (tubulação), ou seja, V_2 >>> V_1. É justamente essa transformação de energia cinética que provoca o diferencial de pressão entre os pontos 1 e 2, gerando uma pressão negativa ou sucção no ponto 2, onde se encontra conectado o depósito com a solução fertilizante.

O fluxo de fertilizante injetado na rede tem relação direta com a pressão da água na entrada do mecanismo, pressão mínima da ordem de 150 kPa (LOPEZ et al., 1997). A vazão varia, nos modelos mais usuais, entre 50 L h^{-1} e 2.000 L h^{-1}. A vazão mínima que deve passar através do venturi depende de sua capacidade e varia de 1 m^3 h^{-1}, para os modelos de 1 polegada, até mais de 20 m^3 h^{-1}, para alguns de 2 polegadas, de alta capacidade de sucção.

Com esse tipo de injetor, ou se dispõe de um bocal para injeção constante do fertilizante na rede ou, em caso contrário, a partir da pressão de entrada e da perda de carga produzida na tubulação

principal, obtêm-se diferentes vazões de injeção, as quais são indicadas pelo fabricante. Salienta-se que o valor da capacidade de sucção do venturi indicado pelo fabricante se refere à água pura. Essa capacidade será reduzida à medida que a densidade da solução fertilizante for aumentada.

A maior vantagem desses injetores de fertilizantes é a simplicidade do dispositivo, a não necessidade de uma fonte de energia para o funcionamento, o preço reduzido comparado a outros equipamentos, a desnecessidade de manutenção e a alta durabilidade. Como limitação, pode-se citar a grande perda de carga provocada pelo estrangulamento da tubulação, que pode variar, dependendo do modelo, de 10% a 50% da pressão de entrada (PASCUAL, 1996; VALVERDE, 1996).

Entretanto, existem soluções alternativas para contornar essa limitação, escolhendo-se o esquema de instalação mais adequado entre as três formas de instalação: instalação do injetor diretamente na linha de irrigação; instalação por meio de uma derivação tipo *by pass*; instalação do injetor com uma bomba auxiliar.

Instalação do injetor diretamente na linha de irrigação

A instalação do injetor diretamente na linha de irrigação (Figura 8), dependendo das condições hidráulicas existentes, pode ser inviável em razão das elevadas perdas de carga. Normalmente, quando instalado na linha principal, o venturi é de difícil regulagem porque a taxa de injeção é muito sensível à variação de pressão.

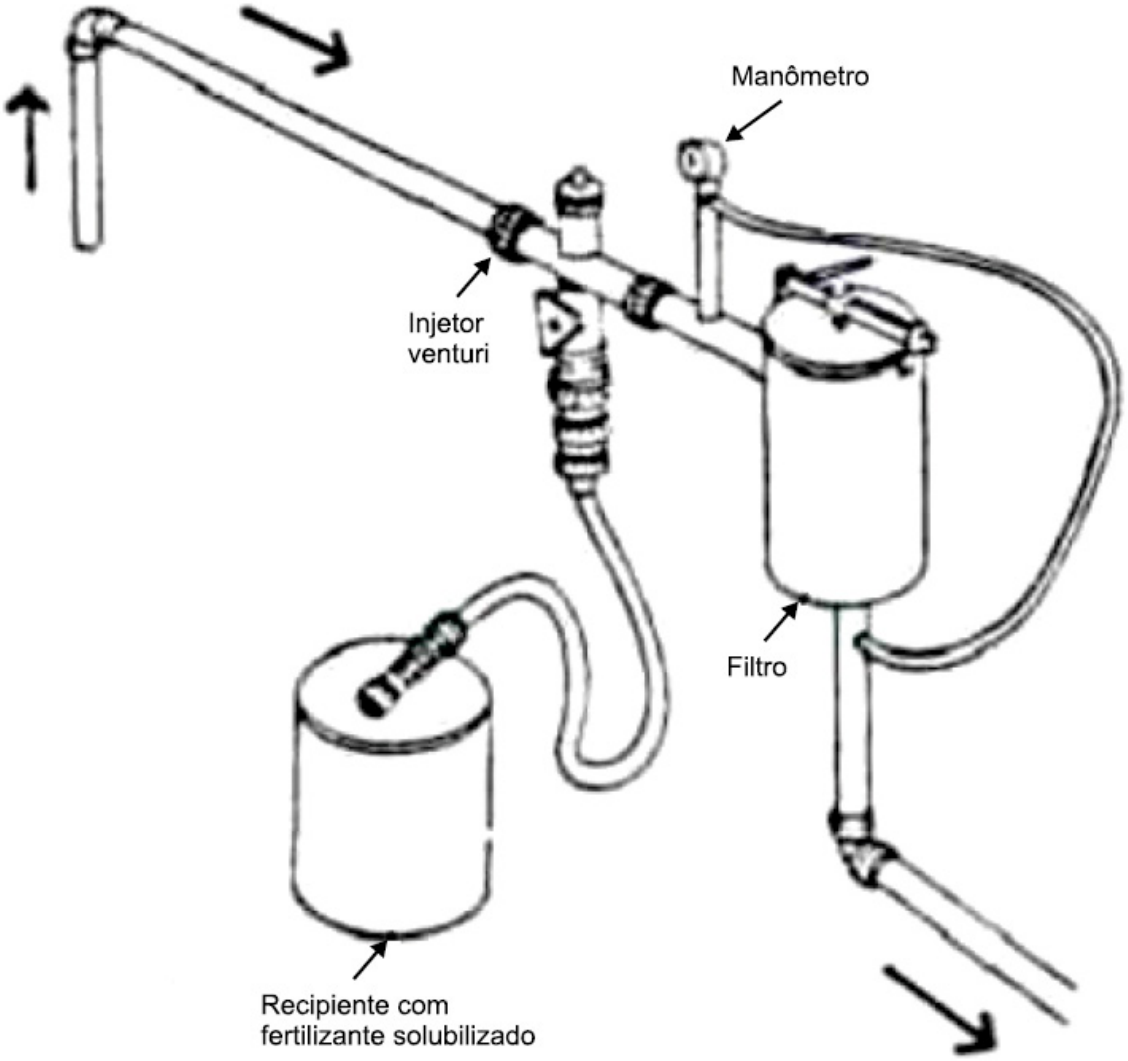


Figura 8. Instalação de injetor venturi na linha de irrigação.

Fonte: adaptado de Pascual (1990).

Instalação do injetor por meio de uma derivação tipo *by pass*

A instalação do injetor venturi em um esquema *by pass* a partir da linha de irrigação, utilizando-se uma tubulação de menor diâmetro, reduz a perda de carga localizada e facilita a operação de injeção. Esse esquema permite ainda o benefício adicional de possibilitar a instalação de um venturi de baixa capacidade de injeção (pequeno

diâmetro) em uma tubulação de irrigação de elevado diâmetro. Contudo, ainda é necessária uma pequena perda de carga por meio da instalação de um registro na linha de irrigação para desviar parte do fluxo de água para o venturi (Figuras 9 e 10).



Figura 9. Cabedal de controle de um sistema de irrigação com injetor venturi (A) e detalhe do injetor venturi (B).

Fotos: Valdemício Ferreira de Sousa

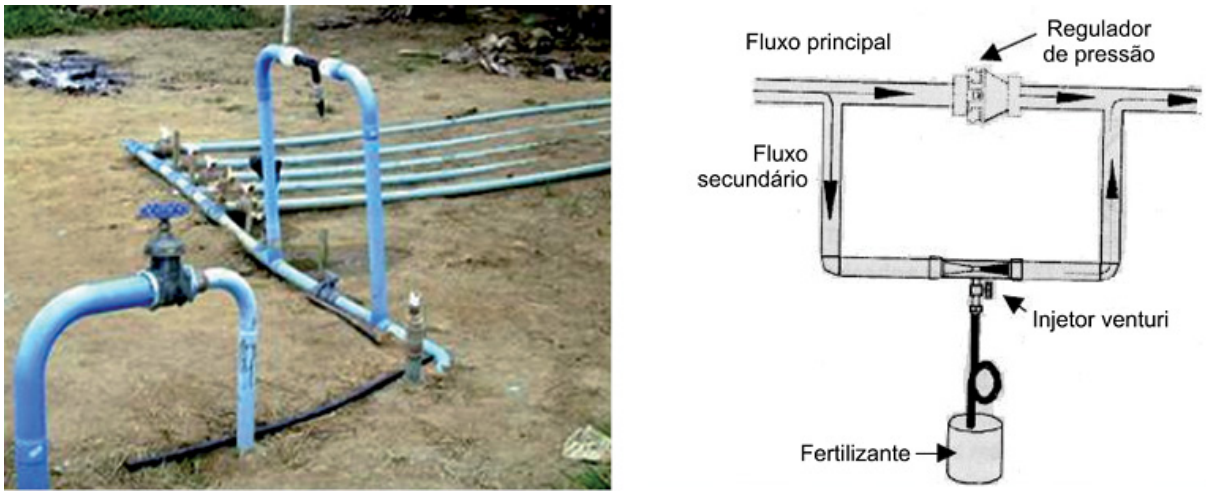


Figura 10. Instalação na linha de irrigação de um injetor venturi em *by pass* para fertirrigação.

Fonte: adaptada de Vidal (2003).

Foto: Otávio Alvares de Almeida

Instalação do injetor com uma bomba auxiliar

Esse esquema dá-se com a instalação de uma bomba auxiliar para proporcionar o diferencial de pressão necessário à injeção do fertilizante através do venturi (Figura 11), a desvantagem é o custo mais elevado de instalação do sistema. Em muitos casos, quando se quer evitar grandes perdas de carga, instala-se um pequeno equipamento de bombeamento antes do venturi. O cálculo da pressão que deve fornecer o equipamento de bombeamento é feito por meio da equação 8.

$$H' = H \frac{\Delta p}{1 - \Delta p} \quad (8)$$

em que Δp é a perda de carga do venturi (decimal), H a pressão da rede e H' a pressão a fornecer pelo equipamento de bombeamento.

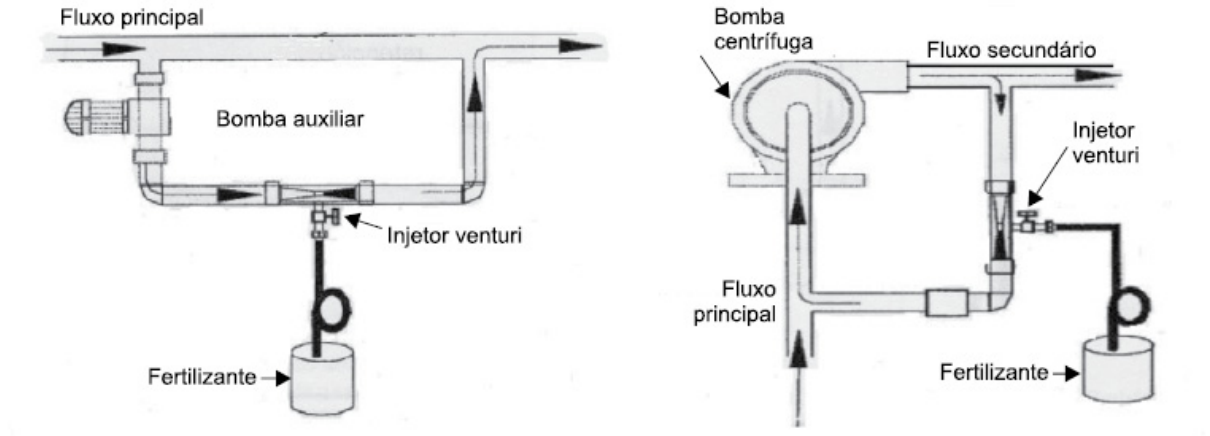


Figura 11. Instalação de venturi utilizando bomba auxiliar.

Fonte: adaptado de Vidal (2003).

Tubo de pitot

O tubo de pitot é um dispositivo composto de dois tubos de pitot, em que o primeiro está voltado contra o fluxo da água e o outro na direção do fluxo. Esse posicionamento cria um diferencial de pressão que força a passagem de parte do líquido pelo tanque de abastecimento, que, uma vez hermeticamente fechado, apresenta a mesma pressão da linha de irrigação (Figura 12). O princípio de funcionamento em que se baseia é o de transformação de energia, em que os componentes de pressão e velocidade estão envolvidos (COSTA; BRITO, 1988).

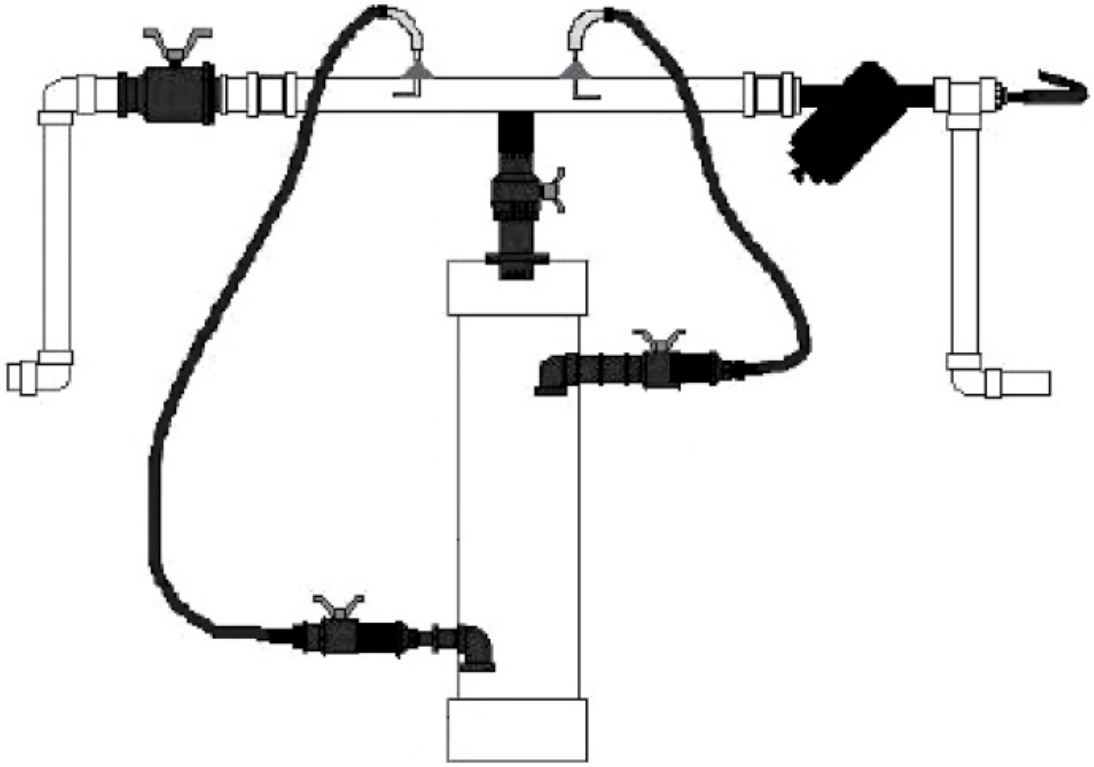


Figura 12. Esquema de injeção de fertilizantes através de tubos de pitot.

Fonte: Santos e Lima (2000).

Esse injetor pode ser fabricado pelo produtor, sendo necessário determinar a curva característica do equipamento para definição da vazão derivada ao reservatório de fertilizantes. O volume de água

que deve passar pelo tanque deve ser igual a quatro vezes a sua capacidade para garantir boa solubilização do fertilizante no interior do tanque e uma aplicação uniforme nas tubulações de irrigação. Por exemplo, para garantir a aplicação quase integral do fertilizante colocado em um reservatório de 20 L, é necessário que circulem por esse reservatório 80 L de água. A vantagem da utilização desse injetor não é a precisão de aplicação de produtos químicos, mas a facilidade de construção e/ou preço. Esse sistema de injeção é mais adaptado a pequenos produtores, pois trabalha com baixa pressão (menos de 100 kPa).

Pressão positiva

Como ocorre nos injetores venturi, a solução fertilizante contida num reservatório aberto é introduzida no sistema de irrigação com uma pressão superior à da água de irrigação, em concentração constante, por meio de uma bomba elétrica ou hidráulica.

Bombas injetoras com motor elétrico

As bombas injetoras com motor elétrico estão muito desenvolvidas porque são utilizadas não somente para a injeção de fertilizantes, mas também nos tratamentos de água, nas indústrias petroquímicas, orgânica e inorgânica, etc. Consistem em bombas de deslocamento positivo, de pistão ou membrana, acionadas por um motor elétrico de baixa potência (0,25 kW a 1 kW), fabricadas com materiais não corrosivos (Figura 13). Nos modelos mais usados, a

pressão de injeção varia entre 4 e 12 atmosferas e os volumes injetados variam entre 1 L h^{-1} e 1.500 L h^{-1} (LOPEZ et al., 1997; PASCUAL, 1996; PIZARRO, 1996; VALVERDE, 1996). A vazão teórica injetada por uma bomba injetora elétrica de pistão é dada pela equação 9:

$$Q = \pi \times N \times R^2 \times C \quad (9)$$

em que Q é a vazão da bomba (L h^{-1}), N o número de ciclos aspiração-impulsão em 1 hora, R o raio do pistão (dm) e C a velocidade do pistão ou deslocamento do pistão (dm h^{-1}).



Figura 13. Bomba injetora de pressão positiva com motor elétrico e regulador de vazão.

Foto: Eugênio Ferreira Coelho

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

Para modificar a vazão, pode-se variar a velocidade C do pistão ou o número N de ciclos por hora. O usual é o primeiro: as bombas injetoras têm um comando exterior para regular a vazão (parafuso

micrométrico), que atua deslocando a excêntrica, modificando a velocidade do pistão, o qual regula a vazão. A regulagem pode ser feita com a bomba parada ou em funcionamento. As bombas injetoras são definidas por sua vazão nominal e a regulagem estabelece-se como uma porcentagem dela, geralmente entre 10% e 100%.

Atualmente, é o sistema mais exato de injeção e o mais desenvolvido. Apresenta a vantagem de sua fácil automação, podendo serem reguladas sua partida e sua parada desde um programa de irrigação.

Entre a saída do tanque e o injetor, é conveniente a colocação de um pequeno filtro de malha (3/4 ou 1 polegada) para impedir que no injetor entrem elementos estranhos que possam afetar o seu funcionamento. Vê-se na Figura 14 um esquema de instalação de uma bomba injetora elétrica.

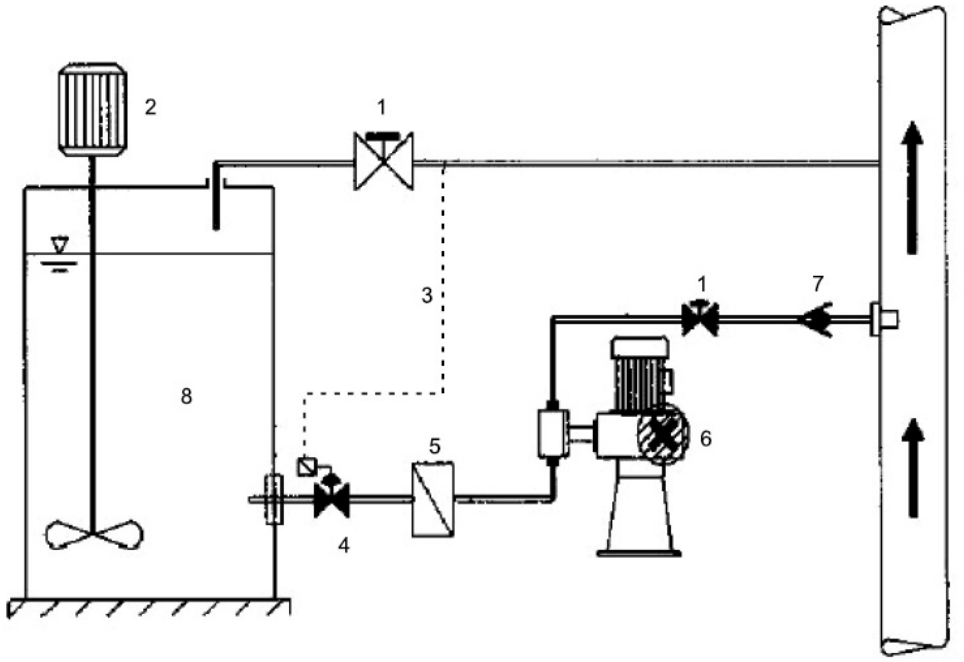


Figura 14. Esquema da instalação de uma bomba injetora elétrica: válvula de esfera (1); eletroagitador (2); tubo de comando hidráulico da eletroválvula para produtos químicos (3); eletroválvula para produtos químicos (4); filtro de malha (5); bomba injetora com motor elétrico (6); válvula de retenção (7); depósito de fertilizante (8).

Fonte: Valverde (1996).

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

Bombas injetoras de acionamento hidráulico

Dosificador hidráulico é uma bomba constituída por uma pequena câmara que alternativamente se enche e se esvazia ao ser acionada pela pressão da rede de irrigação. Quando a câmara se enche, o dosificador succiona o fertilizante de um depósito, e quando se esvazia, injeta-o na rede. É instalado em paralelo com a rede de

irrigação, preferentemente entre dois pontos onde haja uma diferença de pressão (regulador de pressão, filtro, etc.). A pressão mínima de funcionamento varia de 50 kPa a 200 kPa (LOPEZ et al., 1997; PASCUAL, 1996; PIZARRO, 1996), a pressão máxima oscila entre 600 kPa e 1.000 kPa e sua capacidade máxima de injeção costuma estar entre os 20 L h^{-1} e 300 L h^{-1}, segundo o modelo. O volume de solução injetado é determinado pela equação 10.

$$V = v \times n \times t \quad (10)$$

em que V é o volume injetado no tempo t (L h^{-1}), v o volume injetado em um movimento do êmbolo (L), n o número de movimento do êmbolo por unidade de tempo e t o tempo de funcionamento (h).

Para controlar a dosificação, varia-se n, ajustando a pressão de entrada na bomba mediante uma válvula. Para cada modelo, o fabricante deve fornecer um gráfico ou tabela que relacione a pressão de entrada com o número de movimentos do êmbolo por unidade de tempo.

As bombas de acionamento hidráulico (Figura 15) são normalmente de pistão ou diafragma e o consumo de água para o seu funcionamento costuma ser de duas a três vezes o volume de líquido injetado. A principal vantagem desses dispositivos é que não necessitam de aporte de energia exterior para a instalação e não produzem perda de carga adicional. Na Figura 16, pode-se ver o esquema da instalação de uma bomba injetora hidráulica.

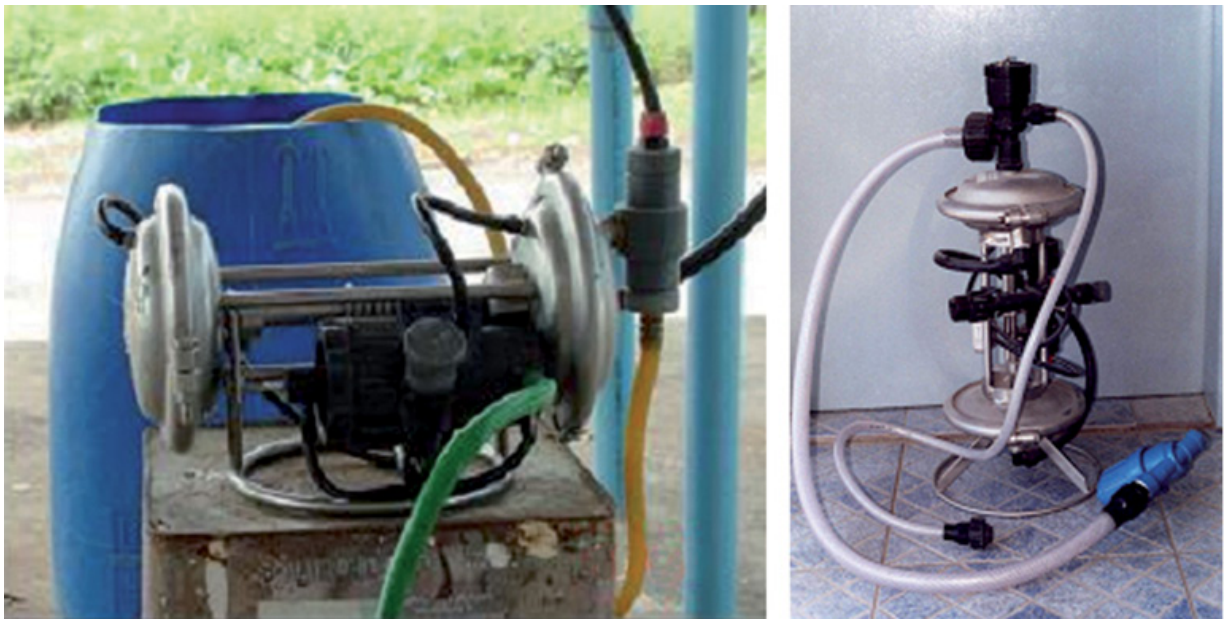


Figura 15. Bombas injetoras de acionamento hidráulico.

Fotos: Valdemício Ferreira de Sousa (esq.) e Otávio Alvares de Almeida (dir.)

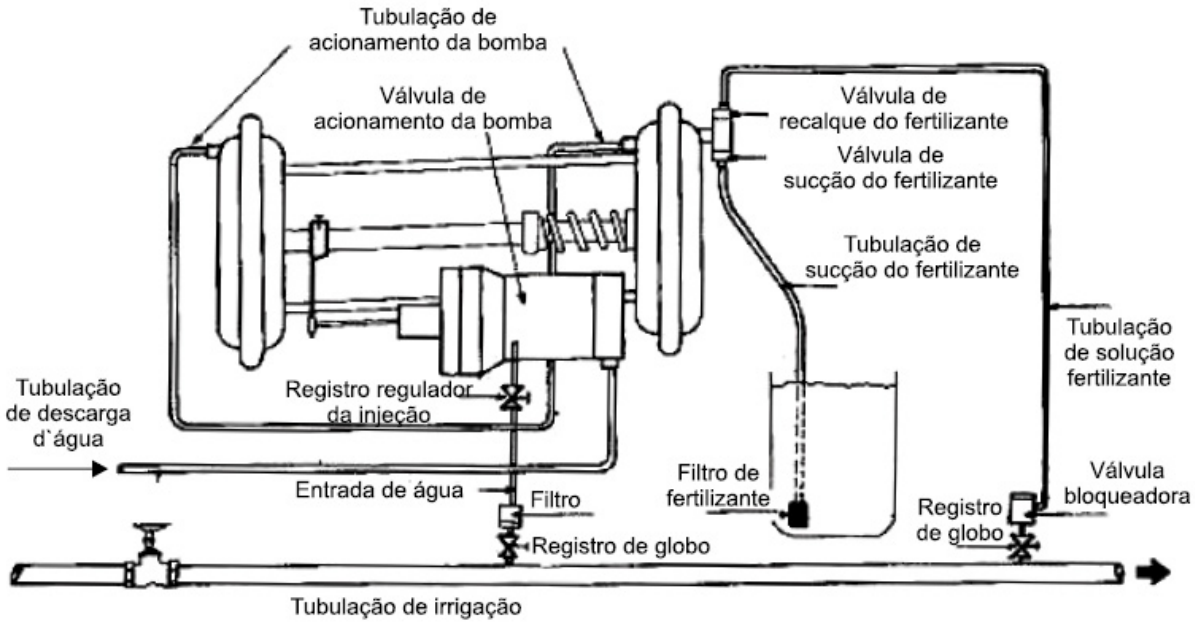


Figura 16. Esquema de instalação e funcionamento de uma bomba injetora de ação hidráulica por diafragma.

Fonte: Santos e Lima (2000).

Bombas injetoras de ação hidráulica por pistão

Como a bomba injetora de acionamento hidráulico por diafragma ou membrana, o dosificador hidráulico acionado por pistão também não requer energia elétrica para o seu funcionamento. Sua instalação faz-se da mesma forma que o injetor venturi, e é indicado em instalações comunitárias, de onde a água é fornecida com pressão superior à necessária, ou mesmo quando se dispõe de um reservatório que se encontra em uma cota muito elevada. Em razão da complexidade do equipamento, por ter muitas peças móveis, a qualidade da água é de fundamental importância, já que qualquer impureza pode afetar o bom funcionamento do injetor.

Na Figura 17, apresenta-se um modelo de bomba injetora de ação hidráulica e os modos de instalação do equipamento, que tem a capacidade de injetar soluções fertilizantes uniformemente na faixa de 0,02 L h^{-1} a 250 L h^{-1}, em uma razão de diluição de 1:500 a 1:50, ou seja, de 0,2% a 2%.

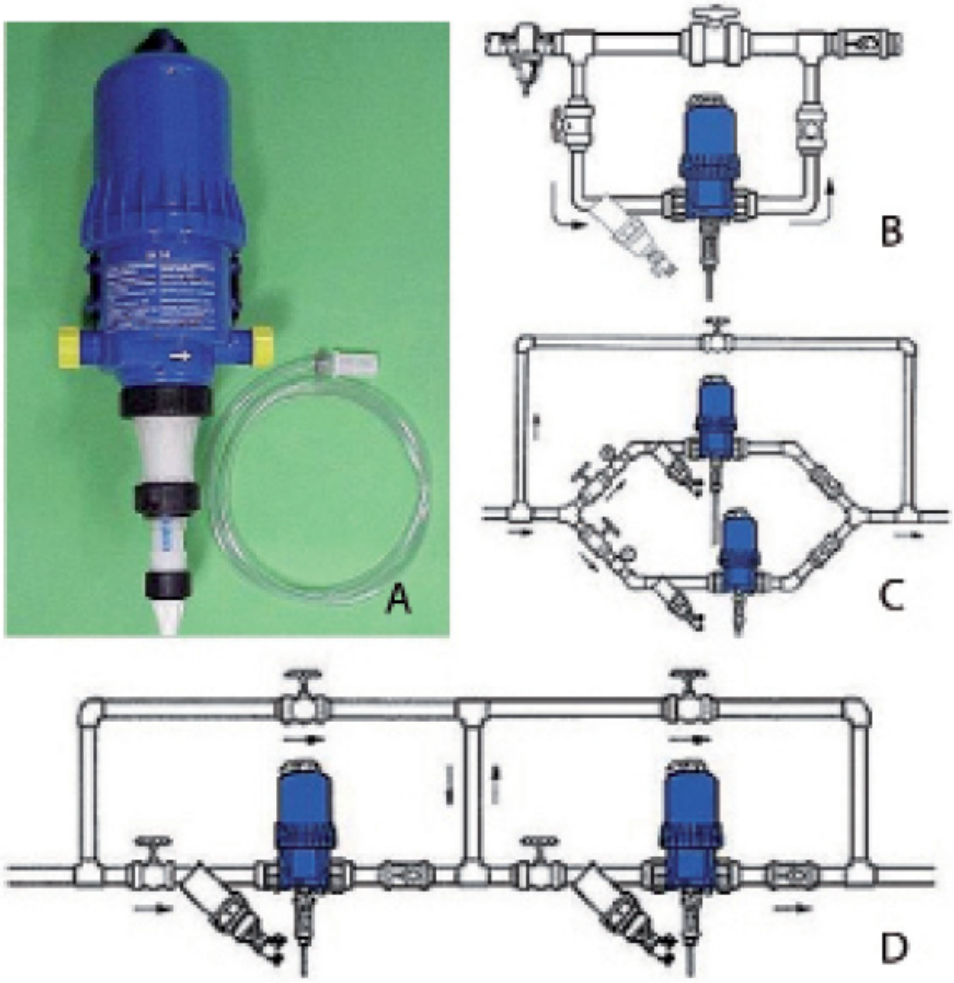


Figura 17. Bomba injetora de ação hidráulica por pistão (A), instalada em *by pass* (B), em paralelo (C), em série (D). Foto: Francisco José de Seixas Santos

Fonte: Vidal (2003).
Foto: Francisco José de Seixas Santos.

Com esse equipamento, o processo de injeção da solução fertilizante na linha de irrigação ocorre em virtude da obtenção e regulagem da relação de injeção da solução no dosificador. A relação de injeção ou relação de diluição a ser utilizada no dosificador e a consequente concentração da solução final a ser obtida são calculadas por meio das equações 11 e 12.

(11)

$$r = \frac{q}{Q}$$

$$C_f = C_i \times r \quad (12)$$

em que r é a razão de injeção, q a vazão da solução injetada (L h^{-1}), Q a vazão da linha de irrigação ou do sistema de irrigação (L h^{-1}), C_f a concentração da solução final no emissor (g L^{-1}) e C_i a concentração da solução inicial no reservatório (g L^{-1}).

Após a instalação da bomba injetora de ação hidráulica, é necessário ter os devidos cuidados para um adequado controle e manejo da fertirrigação. As operações necessárias consistem em: a) preparar e ajustar a solução inicial; b) regular a relação de injeção; c) determinar a vazão de injeção; d) calcular o tempo de fertirrigação. A bomba injetora de ação hidráulica pode ser instalada de várias maneiras: direto na própria linha de irrigação, em série, em paralelo e em derivação com *by pass*. Neste último esquema de instalação, parte da água de irrigação passa pelo dosador quando em funcionamento.

Para estabelecer a concentração da solução inicial no reservatório (C_i), é necessário eleger a relação ou razão de injeção (r) e a concentração final que deve sair do emissor (C_f) e aplicar a equação 12. A regulagem da relação de injeção é feita por meio de ajuste prévio na escala existente no próprio equipamento. A vazão de injeção da solução inicial é função da regulagem de r e da vazão do sistema de irrigação (Q) e pode ser calculada pela equação 12. O tempo de injeção da solução é extremamente importante no manejo de fertirrigação e pode ser calculado pela equação 13.

(13)

$$T_f = \frac{M_f \times 10^{-3}}{Q \times C_f}$$

em que T_f é o tempo de fertirrigação (h), M_f a quantidade de fertilizante por aplicação (kg), Q a vazão do sistema de irrigação (L h^{-1}) e C_f a concentração da solução final (g L^{-1}).

Exemplo: Considerando-se um sistema de fertirrigação com uma bomba injetora de ação hidráulica, em que a vazão do sistema (Q) é de 6.000 L h^{-1}, a quantidade de fertilizante KNO_3 (M_f) é de 3 kg, a razão de injeção (r) é de 3% e a concentração da solução final (C_f) é de 1,5 g L^{-1}, calcular os parâmetros para estabelecer o manejo e controle da fertirrigação.

- Taxa de injeção da solução (q)

$$q = 0{,}03 \times 6.000 \text{ L h}^{-1} = 180 \text{ L h}^{-1}$$

- Concentração da solução inicial no reservatório (C_i)

$$C_i = \frac{1{,}5 \text{ gL}^{-1}}{0{,}03} = 50 \text{ gL}^{-1}$$

- Tempo de fertirrigação (T_f)

$$T_f = \frac{3 \text{ kg} \times 10^3}{6.000 \text{ Lh}^{-1} \times 1{,}5 \text{ gL}^{-1}} = 0{,}333 \text{ h ou } 20 \text{ min}$$

Método combinado ou composto

A base do seu funcionamento é a pressão existente na linha de irrigação oriunda do trabalho desenvolvido pelo conjunto motobomba do sistema de irrigação, por uma bomba auxiliar e pelo componente gravitacional em razão da posição do injetor, localizado acima do ponto de injeção, conforme apresentado na Figura 18. Nesse caso, a pressão no ponto de entrada do sistema (pA) é menor que a pressão no ponto de injeção (pB). Se a pressão do componente gravitacional (pG) for positiva, o balanço de pressão no sistema de injeção pode ser representado pela equação 14.

$$pB = pA + pG - hf_{(AB)} \quad (14)$$

em que pA é a pressão de injeção da água no sistema, pB a pressão no ponto de injeção da solução na linha, pG a pressão gravitacional e $hf_{(AB)}$ a perda de carga entre os pontos A e B.

Na Figura 18, pode-se observar que a linha principal encontra-se numa cota inferior à cota da bomba auxiliar, numa distância vertical (m), a uma distância ($m + n$) do tanque ($m + n + L$) e igual a pG do sifão. A perda de carga entre A e B é representada por $hf_{(AB)}$. A bomba auxiliar funciona com a energia produzida pelo conjunto motobomba principal.

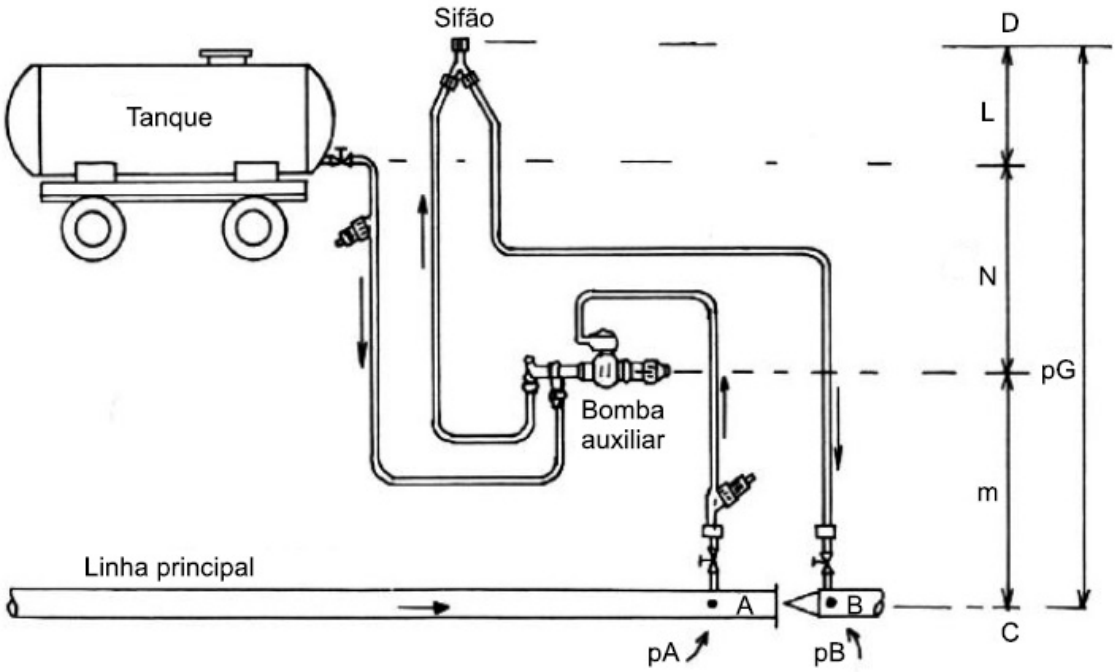


Figura 18. Esquema da instalação e condições necessárias para a operacionalização do método combinado ou composto de injeção de fertilizante.

Fonte: Costa et al. (1987).

Critérios de escolha dos equipamentos de injeção de fertilizantes

Como se viu, existe grande variedade de procedimento de aplicação de fertilizantes na tubulação de irrigação. As condições de cada caso devem ser consideradas minuciosamente para que a decisão tomada seja a correta. Podem ser utilizados equipamentos altamente sofisticados e automatizados ou um simples tanque de derivação de fluxo. Todavia, alguns critérios devem ser levados em conta para a escolha do equipamento injetor: fonte de energia

disponível, volume e capacidade do sistema, mobilidade do sistema e a possível necessidade de automatização.

Fonte de energia disponível

Os dosificadores elétricos só podem ser instalados quando se dispõe dessa fonte de energia. Quando não se dispõe de eletricidade, as opções são os tanques de derivação ou de fertilizantes, os injetores venturi e os dosificadores hidráulicos que aproveitam simplesmente a pressão hidráulica da rede de irrigação. Alguns dosificadores hidráulicos necessitam de pressão de serviço da ordem de 200 kPa.

Volume e capacidade do sistema

A quantidade de solução que o reservatório de fertilizante pode conter e as vazões totais que se podem introduzir na rede de irrigação são função da frequência de irrigação, da necessidade total de fertilizante e da forma de aplicação dos fertilizantes.

Mobilidade do sistema

Quando as parcelas de irrigação são numerosas ou afastadas do cabeçal de controle, deve-se pensar na utilização de sistemas de injeção de fertilizante portáteis.

Automatização do sistema

A automatização dos dosificadores elétricos é muito fácil desde que a programação seja feita por um determinado tempo, que não se necessite da visita ao campo. Os demais sistemas também podem ser dosificados por tempo, utilizando-se eletroválvulas, porém, requerem a disponibilidade de energia elétrica, cuja falta é a causa da escolha desses sistemas de fertirrigação. Se a automatização se faz sem a utilização de energia elétrica, recorre-se ao emprego de válvulas volumétricas ou fertirriga-se sempre que fizer uma nova irrigação.

Tratamento das obstruções

Ainda que se tenha um sistema de filtros adequado às características da água e do emissor, há risco de obstrução de origens química, física e biológica por causa da formação de precipitados, da presença de sedimentos sólidos e do desenvolvimento de colônias bacterianas.

Essas obstruções são combatidas com dois tipos de tratamento: preventivo e curativo. O primeiro evita o fenômeno, o segundo elimina-o quando é produzido. A eliminação das obstruções é difícil, preferindo-se prevenir a curar.

Tratamento preventivo contra precipitações

Os precipitados são fundamentalmente carbonatos, de cor branca, ou ferro, manganês e enxofre, que se oxidam em seu estado reduzido e dissolto (Figura 19). A precipitação de carbonatos é

impedida diminuindo-se o pH da água de irrigação até 5,5 ou 6, e acidificando-se com NO_3H.



Figura 19. Obstrução da tubulação por decantação de carbonato.

Foto: Otávio Alvares de Almeida

Para prevenir os precipitados de ferro, manganês e enxofre no interior do sistema, provoca-se essa precipitação antes do cabeçal de controle e retêm-se os sólidos gerados no sistema de filtração ou na aplicação contínua de antioxidantes.

Tratamento preventivo contra bactérias e algas

As águas superficiais e, em geral, as expostas à luz solar são um meio adequado para o desenvolvimento das algas, que chegam a ser alimento de bactérias. Diminuir, o máximo possível, a ação da

luz solar reduz esse foco de obstrução (Figura 20), essa ação pode ser complementada com a adição de produtos algicidas.



Figura 20. Gotejador obstruído por bactéria.

Foto: Otávio Alvares de Almeida

A ação direta contra as bactérias consegue-se com a aplicação de biocidas. O cloro é o mais utilizado, em forma gasosa ou como hipoclorito sódico, injetando-se antes dos filtros de areia.

O íon cloro tem diversas propriedades químicas dependendo de sua concentração. As baixas concentrações (1 ppm a 5 ppm) agem como bactericida ou como um agente oxidante do íon Fe^{+++}; já, as muito altas (100 ppm a 1.000 ppm) atuam como agente oxidante da matéria orgânica. Para um controle efetivo de algas e bactérias, o pH da água deve ser 6,5 e nunca se deve misturar um ácido com o hipoclorito em virtude da geração de gases tóxicos.

Tratamento de limpeza

Em qualquer caso, sejam necessários ou não os tratamentos preventivos, deve-se proceder a uma limpeza anual da instalação, num período julgado mais conveniente pelo produtor, com o objetivo de eliminar precipitados, microrganismos e sedimentos sólidos que atravessam os filtros.

O tratamento consiste em encher, com a mínima pressão possível, toda a tubulação e manter cheia durante 1 hora com água a pH 2, mediante a injeção de ácido, normalmente nítrico. Transcorrido esse tempo, submete-se a rede à maior pressão possível e são abertos os extremos das tubulações primárias até que a água saia limpa. O mesmo procedimento deve ser realizado nas tubulações secundárias e, finalizando, nas tubulações laterais.

A vazão de ácido a injetar depende da sua concentração e das características da água, sendo preciso proceder à sua avaliação. Essa avaliação consiste em determinar a concentração de ácido necessária para obter um determinado pH.

Se a quantidade de ácido na água de irrigação para elevar seu pH a 2 é c (g L^{-1}) e se é utilizado um ácido comercial de concentração C (% em peso) e densidade ρ (g cm^{-3}), a vazão q (L h^{-1}) com a qual se deve injetar o ácido comercial na vazão Q (L h^{-1}) da rede é calculada pela equação 15.

$$q = \frac{Q \times c}{10\,C \times \rho} \qquad (15)$$

Automação e medidas de segurança na fertirrigação

Ano após ano surgem equipamentos mais sofisticados com a finalidade de fazer da fertirrigação uma prática mais eficiente e segura. Sistemas computadorizados operando com série de produtos isolados já permitem que cada produto seja aplicado separadamente, de acordo com a necessidade temporária requerida pelas culturas. A automação, além de minimizar as perdas dos produtos e reduzir a mão de obra, evita o contato do homem com os produtos e melhora a sua eficácia.

Como a maioria dos produtos químicos utilizados na fertirrigação são perigosos para o homem e ambiente, são necessários cuidados especiais daqueles que estão manuseando o sistema de injeção. Nos cultivos irrigados tecnificados, existem equipamentos, como registros e válvulas de controle para evitar o refluxo desses produtos para a fonte supridora de água, as quais já são bastante utilizadas e recomendadas. Como todo equipamento mecânico pode parar de funcionar a qualquer momento, dispositivos de segurança são imprescindíveis para evitar riscos de contaminação do ambiente com os produtos utilizados.

Referências

ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADA, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. Madrid, ES: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1987. 316 p.

ALMEIDA, O. A. de. Equipamentos de injeção de fertilizantes. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca

e Fruticultura, 2002. p. 28-42.

ANDRADE, C. L. T.; GORNAT, B. **Calibração e operação de um tanque de fertirrigação**. Parnaíba: Embrapa-CNPAI, 1992. 17 p. (Embrapa-CNPAI. Circular Técnica, 3).

BRESLER, E. Trickle-drip irrigation: principles and application to soil water management. **Advance Agronomy**, New York, v. 29, p. 344-393, 1977.

COSTA, E. F. da; BRITO, R. A. L. **Aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1988. 19 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 13).

COSTA, E. F. da; BRITO, R. A. L. Métodos de aplicação de produtos químicos e biológicos na irrigação pressurizada. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 85-109.

COSTA, E. F. da; FRAÇA, G. E. de; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. de Ã.; LEANDRO, W. M. **Irrigação**: momento atual e perspectiva. Jaboticabal: SECITAP, 1987. p. 51-71.

COSTA, E. F.; FRANÇA, G. E.; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 1-112, 1986.

GOLDBERG, D.; SHMUELI, M. Drip irrigation: a method used under arid desert conditions of righ water and soil salinity. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v.13, p.38-41, 1970.

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

LOPEZ, J. R.; HERNANDEZ, J. M.; PEREZ, A.; GONZALEZ, J. F. **Riego localizado**. 2. ed. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1997. 405 p.

LOPEZ, T. M. Cabezal de riego. In: LOPEZ, C. C. **Fertirrigacion**: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid, ES: Mundi Prensa, 1998. p. 247-263.

MOYA TALENS, J. A. **Riego localizado y fertirrigación**. 2. ed. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1998. 392 p.

PASCUAL, B. **El riego**: principio y prácticas. Valencia: UPV-DPV-ETSIA-SPUPV, 1990. 395 p.

PASCUAL, B. **Riegos de gravedad y a presión**. Valencia: Departamento de Producción Vegetal-ETSIA-UPV-SPUPV, 1996. 465 p.

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

SANTOS, F. J. de S.; LIMA, R. N. de. **Fertirrigação**: injetores. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 4 p (Embrapa Agroindústria Tropical. Instruções Técnicas, 7).

SOUSA, A. P.; SOUSA, V. F. de. Fertirrigação: princípio e métodos de aplicação, vantagens e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais**... Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p. 2519-2528.

THREADGILL, E. D. Chemigation via sprinkler irrigation: currents status and future development. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 1, n. 1, p. 16-23, 1985.

VALVERDE, J. A. **Riego localizado**. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia-Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos-DIRA-SPUPV, 1996. 468 p.

VIDAL, I. Cálculos de soluciones y manejo de la fertirrigación. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1., 2003, João Pessoa. **Minicurso**... João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba-Centro de Ciências Agrárias: Embrapa Semi-Árido, 2003. 74 p.

Capítulo 10

Manejo da fertirrigação em fruteiras e hortaliças

Valdemício Ferreira de Sousa
Eugenio Ferreira Coelho
José Maria Pinto
Luis Carlos Nogueira
Maurício Antonio Coelho
Andréia Rodrigues de Araújo

Introdução

As avaliações dos teores de nutrientes do meio em que as plantas se desenvolvem são extremamente importantes numa agricultura altamente produtiva. O fornecimento adequado e eficiente de fertilizantes químicos às culturas é uma prática indispensável na agricultura moderna, que requer conhecimento, técnicas, métodos e equipamentos apropriados à atividade.

A utilização da água de irrigação como veículo para aplicar fertilizantes às culturas é relativamente antiga. De acordo com a literatura, há centenas de anos o lançamento de esterco animal em canais de irrigação e, consequentemente, em áreas cultivadas já era praticado. Na década de 1930, produtores da Califórnia usavam sistemas de irrigação por aspersão para aplicar fertilizantes em pomares, e isso marcou o início do uso da fertirrigação em sistemas

de irrigação pressurizados. Entretanto sua expansão ocorreu a partir das décadas de 1940 e 1950 com o surgimento dos sistemas de irrigação por pivô central. Posteriormente, com o desenvolvimento e a expansão da irrigação localizada (gotejamento e microaspersão), a fertirrigação expandiu-se de forma mais intensa por várias partes do mundo.

A fertirrigação é a aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Essa técnica traduz o uso racional de fertilizantes em agricultura irrigada, uma vez que aumenta a eficiência de uso do fertilizante, disponibiliza nutrientes no volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura e reduz a mão de obra e o custo com máquinas. Além disso, flexibiliza a época de aplicação, uma vez que as doses recomendadas de acordo com a necessidade da cultura podem ser fracionadas.

Qualquer método de irrigação possibilita a aplicação de fertilizantes via água, todavia os sistemas de irrigação pressurizados, especialmente a irrigação localizada, são os mais eficientes. No que se refere aos tipos de cultura e às características de solo e água, a fertirrigação pode ser utilizada em várias situações. As características da cultura e dos solos permitem determinar tanto o método quanto o sistema de irrigação, bem como as doses de fertilizantes mais adequados.

Embora o princípio de aplicação da fertirrigação preconize a utilização de produtos solúveis em água, na seleção dos fertilizantes a serem utilizados devem-se considerar, além da solubilidade, os aspectos relacionados à pureza, ao poder corrosivo, ao poder de acidificação e salinização dos solos e à compatibilidade entre produtos. Essas características são importantes no manejo

operacional do sistema, na uniformidade de distribuição de fertilizantes, na eficiência de uso dos nutrientes pela cultura e na preservação ambiental.

O manejo adequado da fertirrigação proporciona o aumento da produtividade das culturas e a qualidade dos produtos. Entretanto, ainda é preciso investir em pesquisas e na transferência de tecnologias capazes de colocar ao alcance dos usuários as melhores condições para o uso racional da fertirrigação.

Este capítulo tem como objetivo apresentar as práticas de aplicação e o manejo de fertilizantes via água de irrigação em cultivos irrigados, as quais envolvem os aspectos de princípios de aplicação, as doses necessárias de nutrientes, a frequência de aplicação, o manejo, a dinâmica e o monitoramento de íons no solo, bem como seus efeitos no solo e nas plantas.

Necessidade de nutrientes

A fertirrigação não deve ser praticada de forma empírica. A aplicação de fertilizantes com base na experiência do produtor e em recomendações genéricas pode levar à má utilização dos nutrientes pela cultura, e isso pode causar desequilíbrio ambiental e trazer prejuízos econômicos para o empreendimento. Portanto, a prática correta da fertirrigação deve ter embasamento técnico-científico, e deve levar em consideração todos os fatores principais que influenciam a fertilidade do solo e a nutrição da cultura.

O planejamento e o manejo correto da fertirrigação devem iniciar com o conhecimento da situação do solo, de modo que seja possível a determinação da dose apropriada de nutrientes. Na determinação das doses de nutrientes, é necessário conhecer: a) a extração pela cultura durante o ciclo ou as necessidades nutricionais para atingir uma determinada produtividade; b) a quantidade de nutrientes que o solo pode fornecer para a cultura; c) a quantidade de nutrientes na água de irrigação; d) a eficiência da absorção de nutrientes nos diferentes métodos de irrigação (PAPADOPOULOS, 1999; DOMINGUEZ VIVANCOS, 1993). Em síntese, a necessidade de nutrientes para a cultura pode ser determinada utilizando-se a equação 1.

$$Dn = \frac{(Qnex - Qnfs)}{Ef_f} \quad (1)$$

em que Dn é a dose do nutriente (kg), $Qnex$ a quantidade do nutriente exportada pela planta (kg), $Qnfs$ a quantidade do nutriente a ser fornecida pelo solo (t) e Ef_f a eficiência da fertirrigação.

Para estimar a capacidade de fornecimento de nutrientes de um determinado solo, precisa-se conhecer: a) a profundidade do sistema radicular da cultura a ser explorada; b) a densidade do solo; c) o volume do solo ocupado pelas raízes; d) os nutrientes disponíveis conforme análise de solo. Com essas informações, calculam-se a massa de solo ocupada pelas raízes e a quantidade de nutrientes disponível:

$$ms = a \times z \times d \quad (2)$$

$$qnds = ms \times nd \times 10^3 \quad (3)$$

em que z é a profundidade do sistema radicular da cultura (m), d a densidade do solo (t m^{-3}), a a área do solo ocupado pelas raízes (m^2), nd a quantidade do nutriente disponível apresentada na análise do solo (g t^{-1}), ms a massa de solo ocupada pelas raízes (t ha^{-1}) e $qnds$ a quantidade do nutriente disponível no solo (kg ha^{-1}).

A dose necessária de nutrientes pode ser determinada utilizando-se a equação descrita a seguir, que permite uma boa estimativa dos nutrientes necessários ao cultivo.

$$Dn = 100\left[\frac{En - qnds + qnda}{Es}\right] \quad (4)$$

em que Dn é a dose do nutriente necessária (kg ha^{-1}), En a necessidade do nutriente para obter determinada produtividade (kg ha^{-1}), $qnds$ a quantidade do nutriente disponível no solo (kg ha^{-1}), $qnda$ a quantidade do nutriente disponível na água de irrigação (kg ha^{-1}) e Es a eficiência de fertirrigação do sistema (%).

A seleção da dose do nutriente também pode ser efetuada por meio da utilização das recomendações de adubação − específicas para cada cultura e região − provenientes da pesquisa. Nesse caso, essas recomendações são feitas com base na produtividade esperada e nas quantidades de nutrientes que o solo pode fornecer à cultura.

Nesse sentido, trabalho realizado por Sousa et al. (1999a) em solos arenosos de tabuleiros costeiros mostraram que, com o aumento de doses de nitrogênio até 180 kg ha^{-1}, aplicadas via fertirrigação por gotejamento, as produtividades comercial e total do meloeiro aumentaram significativamente (Tabela 1).

Tabela 1. Efeitos de doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação por gotejamento na produtividade do meloeiro.

Dose de N	Produtividade total ($t\ ha^{-1}$)	Produtividade comercial ($t\ ha^{-1}$)
180	55,03 a	46,62 a
120	51,16 ab	43,51 a
60	40,81 bc	31,60 b
0	35,80 c	27,82 b

Fonte: Sousa et al. (1999a).

Nas condições da região do Submédio São Francisco, Pinto et al. (1996) verificaram que diferentes doses de potássio aplicadas via fertirrigação provocaram um efeito positivo nas produtividades de melão. A produtividade máxima foi obtida com a aplicação de 90 kg ha^{-1} de K_2O, efeito atribuído ao aumento do peso médio de frutos. Em solos arenosos de Tabuleiros Costeiros, Sousa et al. (1998, 1999b) constataram que a produtividade do meloeiro aumentou até 200 kg ha^{-1} (Figura 1) com a aplicação de doses crescentes de potássio. Essas diferenças podem ser atribuídas às diferenças ambientais e de sistemas de produção, principalmente no que diz respeito à densidade de plantio e à condução de plantas e frutos. Ainda como exemplo, pode-se verificar nas Figuras 2 e 3 a resposta positiva do maracujazeiro amarelo em razão de diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação (SOUSA, 2000; SOUSA et al., 2003).

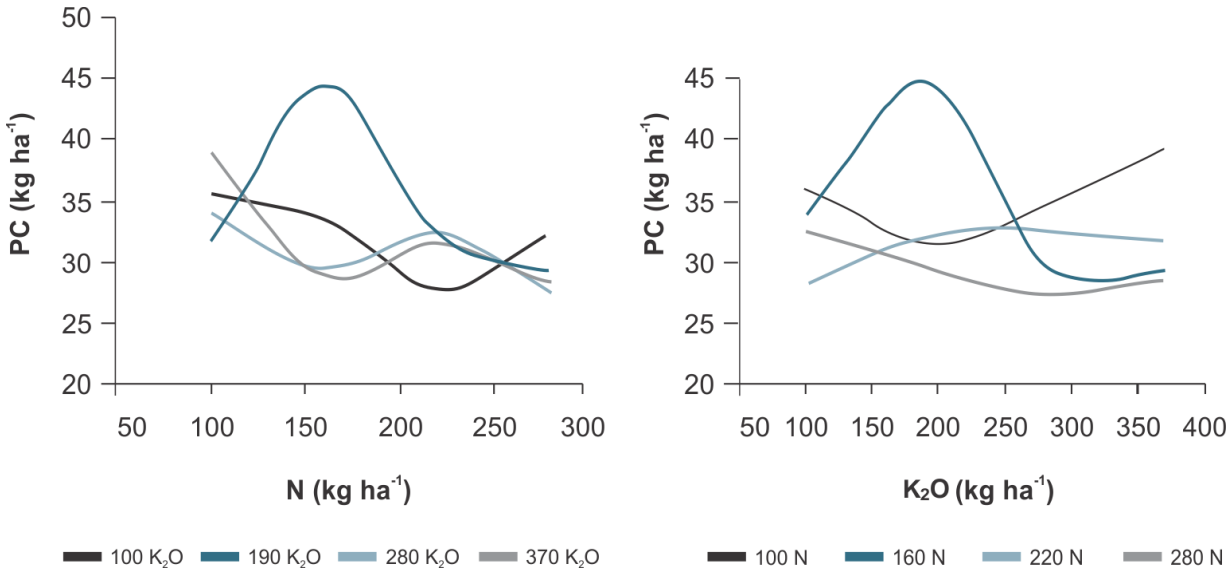


Figura 1. Produtividade comercial do meloeiro sob diferentes doses de N e K.

Fonte: Sousa et al. (1998).

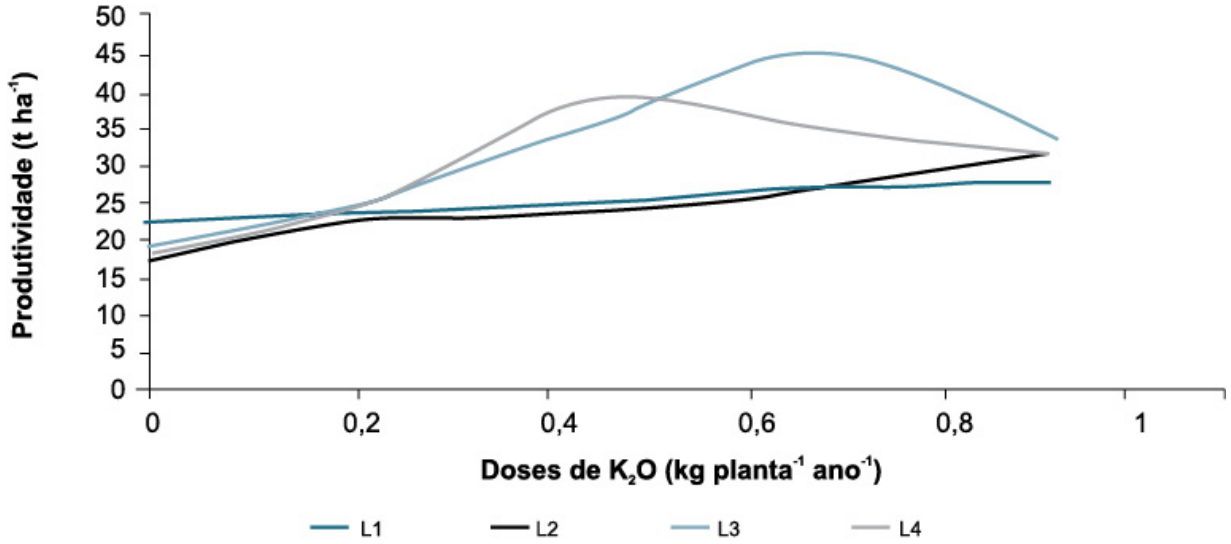


Figura 2. Doses de potássio e níveis de água na produtividade do maracujazeiro amarelo.

Fonte: Sousa (2000).

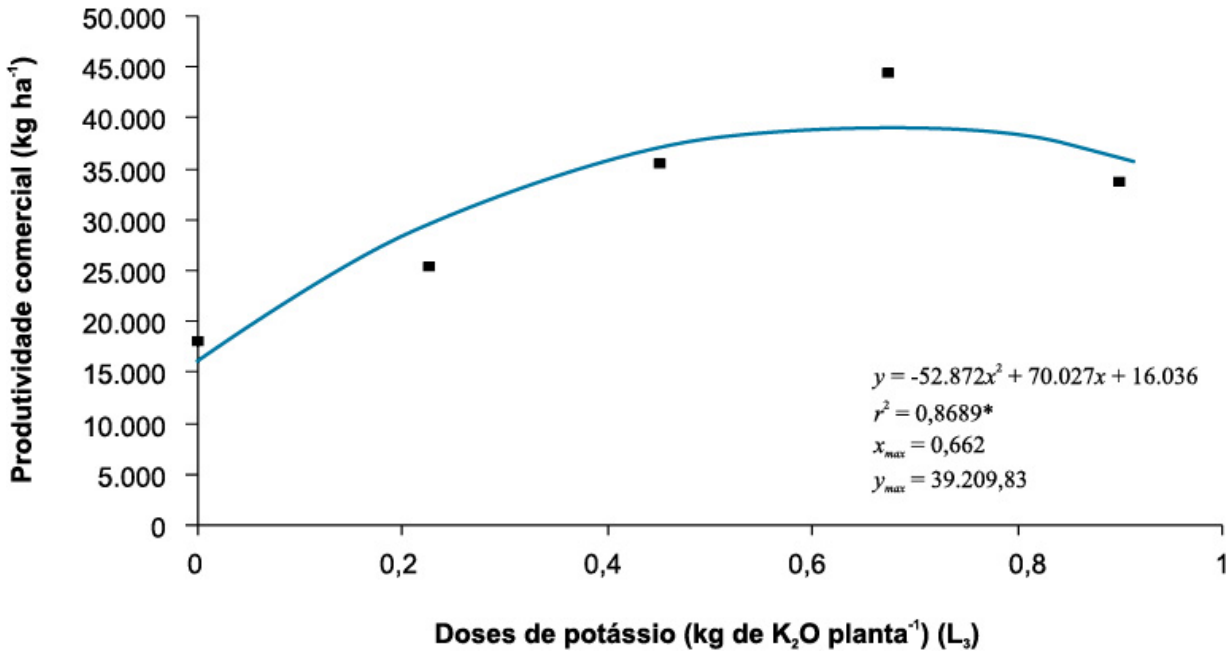


Figura 3. Doses de potássio aplicadas por gotejamento na produtividade do maracujazeiro amarelo.

Fonte: Sousa et al. (2003).

Resultados referentes a doses de nutrientes aplicadas por fertirrigação a outras culturas, como tomate, pimentão, melão, pepino e melancia, são abordados em Silva et al. (1999) e Dominguez Vivancos (1993) para algumas fruteiras.

Trabalho desenvolvido por Coelho et al. (2006) sobre avaliação do efeito de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio e potássio sobre a produtividade da bananeira 'Prata Anã' em dois ciclos subsequentes mostrou que o N incrementou a produtividade da bananeira 'Prata Anã' e seguiu uma tendência quadrática, passando de 29,3 t ha^{-1} por ano para 32,9 t ha^{-1} por ano para doses de N de 72,9 kg ha^{-1} e 230,9 kg ha^{-1} por ano respectivamente (Figura 4a) no primeiro ciclo de avaliação.

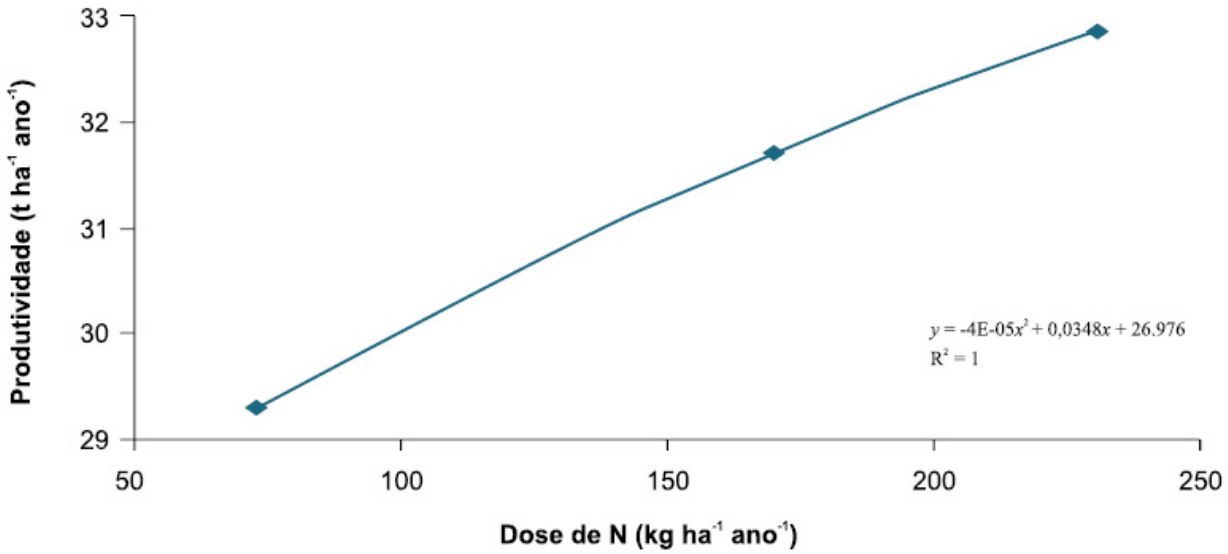


Figura 4a. Produtividade da bananeira ‘Prata Anã’ em resposta ao N no primeiro ciclo avaliado.

Fonte: Coelho et al. (2006).

Os autores verificaram que o potássio também contribuiu para o aumento da produtividade da bananeira ‘Prata Anã’ de forma quadrática (Figura 4b), proporcionando produtividade máxima de 32,3 t ha^{-1} por ano com a aplicação de 431,7 kg ha^{-1} por ano de K_2O. A redução da produtividade a partir de 431,7 kg ha^{-1} por ano de K_2O mostra que a aplicação do potássio isolado foi benéfica até um certo valor para uma aplicação fixa de 170,1 kg ha^{-1} por ano de N.

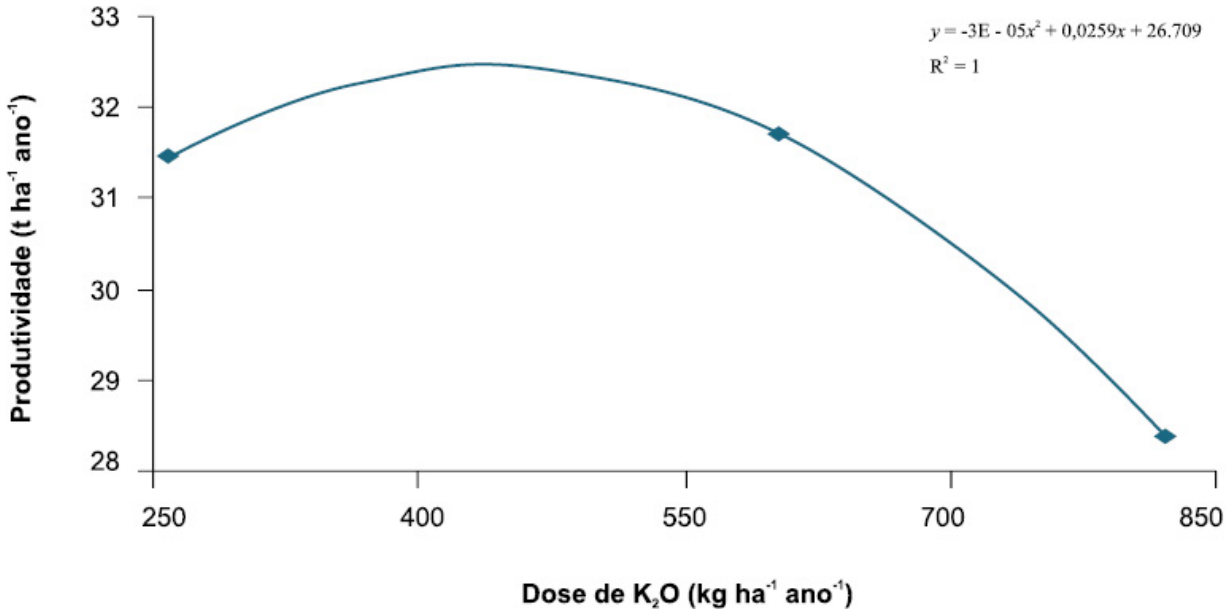


Figura 4b. Produtividade da bananeira 'Prata Anã' em resposta ao K no primeiro ciclo avaliado.

Fonte: Coelho et al. (2006).

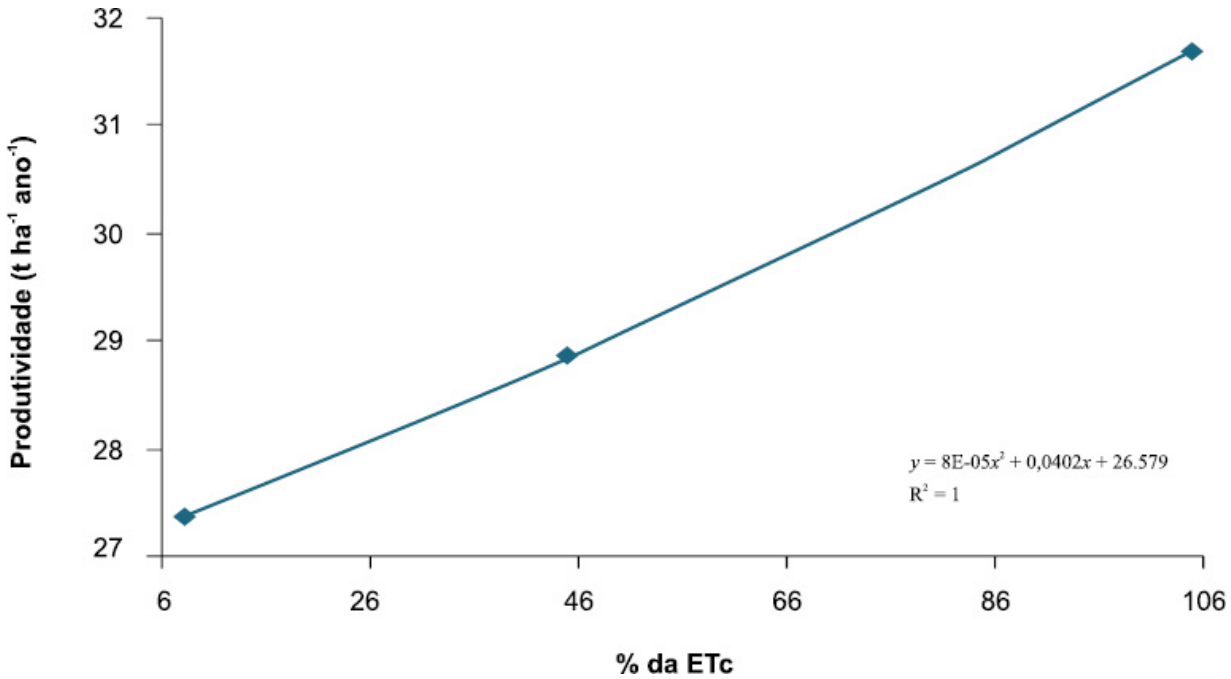


Figura 4c. Produtividade da bananeira 'Prata Anã' em resposta à irrigação no primeiro ciclo avaliado.

Fonte: Coelho et al. (2006).

No segundo ciclo avaliado, o acréscimo de N proporcionou aumento da produtividade até a aplicação de 370 kg ha^{-1}. A partir desse valor, começou a ocorrer redução da produtividade (Figura 5).

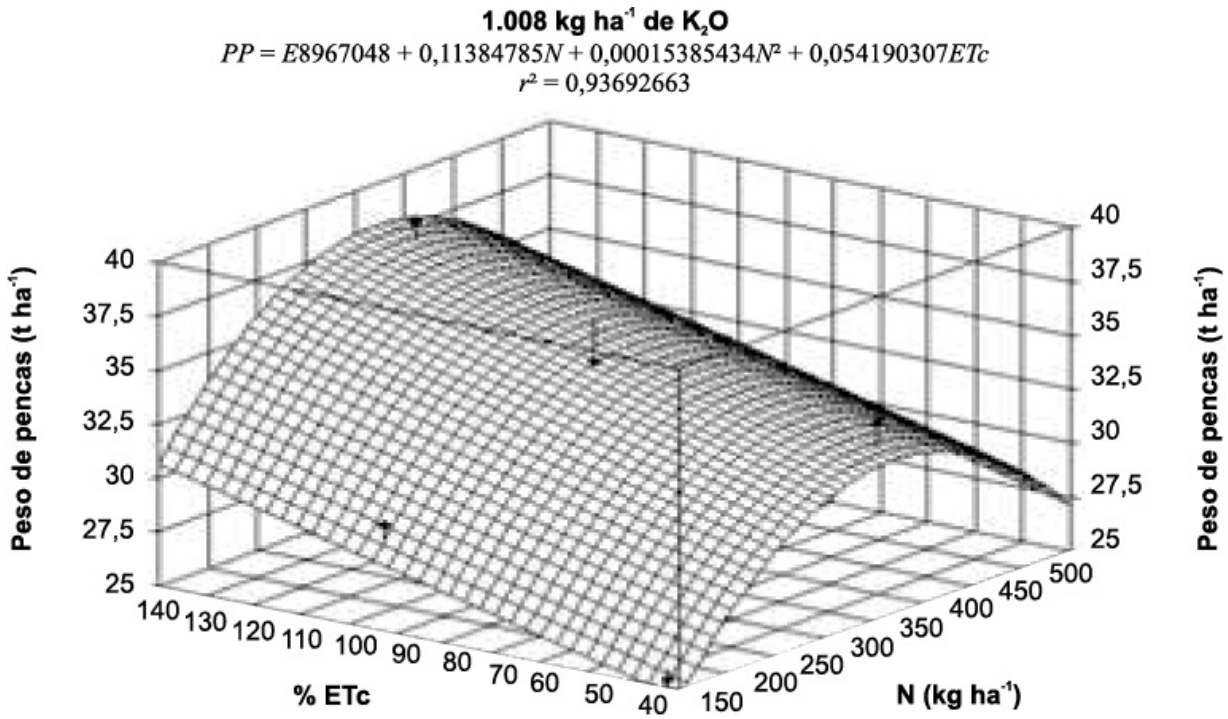


Figura 5. Produtividade de pencas de banana em razão de N e níveis de irrigação no segundo ciclo avaliado.

Fonte: Coelho et al. (2006).

Nas condições de Teresina, PI, Sousa et al. (2004) também avaliaram a resposta da bananeira, cultivar Grand Naine, a doses de N e K_2O aplicadas por fertirrigação. Os autores observaram produtividades máximas para aplicação de 665 kg ha^{-1} a 770 kg ha^{-1} de K_2O, não tendo sido observado efeito das doses de N na produtividade da cultura.

Borges et al. (2002), objetivando avaliar os efeitos de doses de nitrogênio e potássio via água de irrigação, na produção do primeiro ciclo da bananeira cv. Grand Naine, nas condições do projeto Jaíba,

na região norte de Minas Gerais, verificaram que a aplicação de 300 kg de N e 550 kg de K_2O ha^{-1} ano^{-1} proporcionou uma produtividade máxima de 81 t ha^{-1}.

Em experimento de resposta do mamoeiro cv. Sunrise Solo a cinco níveis de nitrogênio e potássio (35, 210, 350, 490 e 665 kg ha^{-1} ano^{-1}) aplicados via água de irrigação, Coelho et al. (2001) obtiveram um comportamento linear da produtividade como função do nitrogênio e quadrática como função do potássio, cuja máxima produtividade física correspondeu às doses de 490 kg ha^{-1} ano^{-1} de N e 490 kg ha^{-1} ano^{-1} de K_2O, equivalentes a uma relação N:K de 1:1 (Figura 6). Já para a cultivar Tainung nº1 em Latossolo Amarelo Distrófico, a produtividade respondeu de forma quadrática tanto à aplicação de N como de K_2O, com máximos físicos para 502 kg ha^{-1} ano^{-1} de N e 309 kg ha^{-1} ano^{-1} de K_2O, o que implica uma relação N:K de 1,6:1 (Figura 7).

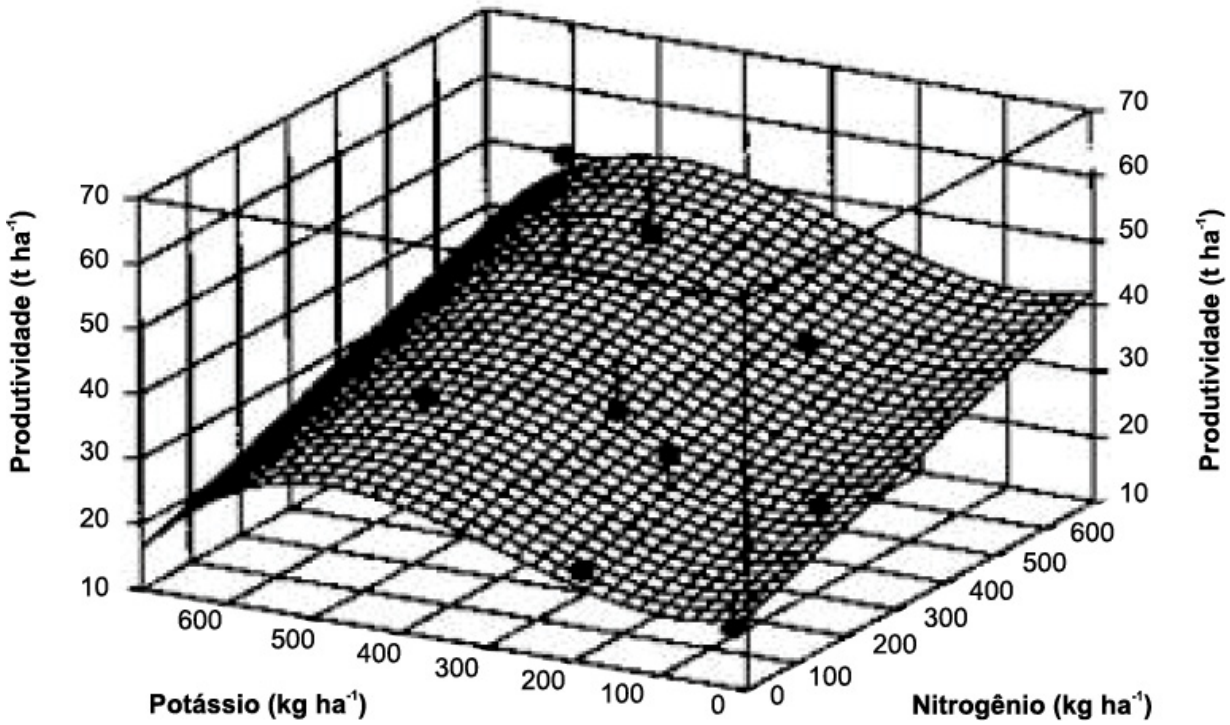


Figura 6. Resposta do mamoeiro cv. Sunrise Solo a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas via água de irrigação.

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

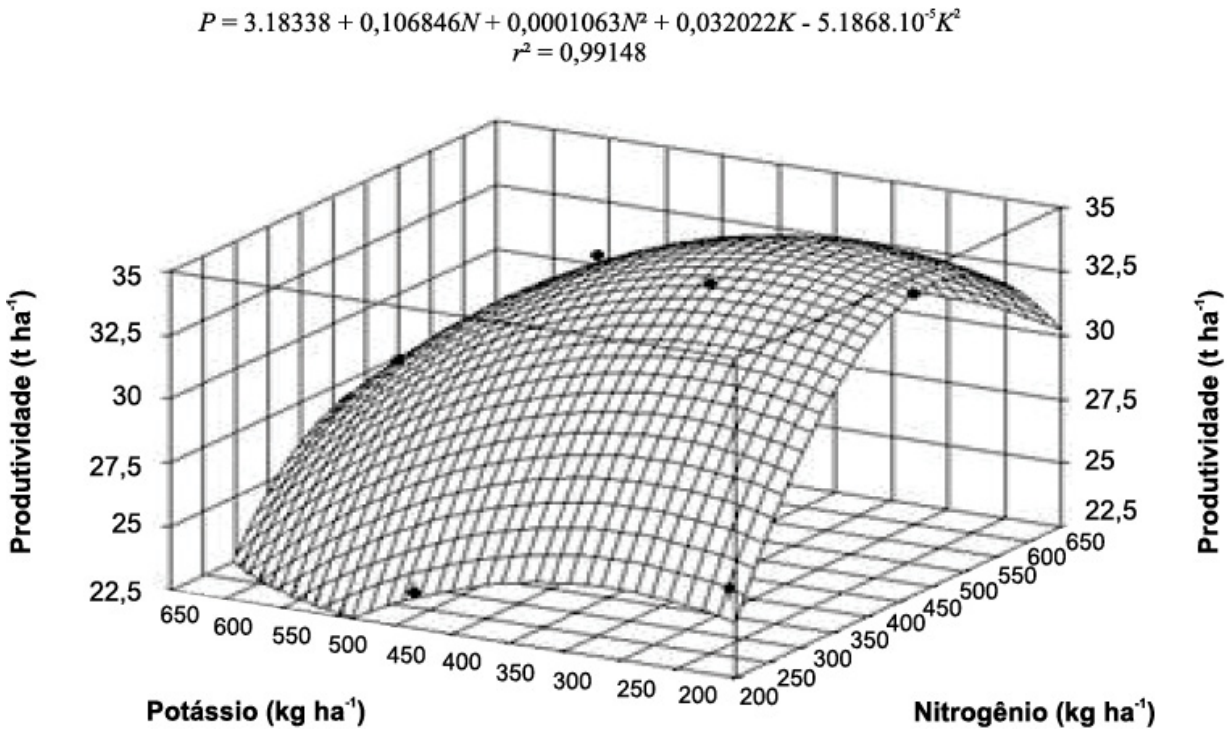


Figura 7. Resposta do mamoeiro cv. Tainung nº 1 a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas via água de irrigação.

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

Frequência de aplicação e distribuição de nutrientes

Uma das maiores vantagens da fertirrigação é a possibilidade de aplicação de forma parcelada dos nutrientes recomendados. A frequência de aplicação de nutrientes ou parcelamento de nutrientes deve ser feita de acordo com a marcha de absorção de nutrientes pela cultura nos seus diferentes estádios de desenvolvimento (SOUSA et al., 1992; SOUSA; SOUSA, 1998). Dessa forma, para efetuar um bom manejo da fertirrigação, é necessário conhecer como ocorre a distribuição da absorção dos nutrientes no ciclo da

cultura. Em virtude da complexidade no que diz respeito à determinação, essas informações são pouco encontradas na literatura, principalmente em relação às fruteiras.

Assumindo-se as outras variáveis do sistema de produção das fruteiras como adequadas para se inferirem os efeitos da fertirrigação, deve-se levar em consideração a dinâmica do uso de nutrientes pelas plantas. Existem fruteiras, tais como o mamoeiro, o maracujazeiro e a bananeira, que, apesar de serem culturas de maior tempo no campo, permanecem a maior parte desse tempo em floração e em produção, fases críticas quanto à sensibilidade à água e a nutrientes. Portanto, essas culturas apresentam uma dinâmica de absorção e uso dos nutrientes mais intensa do que fruteiras como a laranjeira ou a mangueira, que concentram a floração e o crescimento de frutos em um período de 4 meses durante o ano. Dessa forma, a aplicação mais frequente de nutrientes via irrigação será imediatamente utilizada pelas fruteiras de regime constante de produção, enquanto a demanda, no caso das fruteiras de produção concentrada em apenas parte do ano, deve ser menor no período entre as fases produtivas. Para essas fruteiras, espera-se, portanto, menor resposta da produtividade à fertirrigação, quando comparada com a aplicação em menor frequência via sólida.

Outro aspecto que deve ser observado é a própria demanda de nutrientes das fruteiras (Tabela 2). Pode-se, nesse caso, citar o exemplo da bananeira que chega a demandar por ano 270 kg ha^{-1} de nitrogênio e cerca de 740 kg ha^{-1} de potássio, enquanto a mangueira demanda 90 kg ha^{-1} de nitrogênio e cerca de 160 kg ha^{-1} de potássio. Essas diferenças indicam que as duas culturas têm dinâmicas de absorção e de uso dos nutrientes muito diferentes

entre si e que possivelmente a fertirrigação tenha uma resposta mais acentuada na bananeira do que na mangueira ou nos citros.

Tabela 2. Demanda de nitrogênio e potássio por algumas fruteiras.

Cultura	Nitrogênio (kg ha^{-1} $ciclo^{-1}$)	Potássio (kg ha^{-1} $ciclo^{-1}$)
Abacaxi	320	480
Banana	270	740
Café	560	560
Citros	200	200
Manga	90	160
Mamão	350	350
Maracujá	300	477

Fonte: Borges e Costa (2002).

De modo geral, a frequência da fertirrigação depende, dentre outros fatores, do tipo de fertilizante, solo, cultura, salinidade e sistema de irrigação. Fertilizantes com maior potencial de lixiviação, como os nitrogenados, devem ser aplicados mais frequentemente. Todavia, por não implicarem aumento significativo de mão de obra, as principais fontes de nitrogênio e de potássio podem ser misturadas e aplicadas simultaneamente. Para gotejamento em solos de textura arenosa, a fertirrigação deve ser realizada em um período de 1 a 2 dias. No caso de solos de textura média e fina, esse período é de 2 a 7 dias.

As aplicações mais frequentes e em menores quantidades permitem reduzir as perdas de nutrientes, aumentam a eficiência do uso de fertilizantes e promovem o aumento da produtividade do meloeiro (COELHO et al., 2003; PINTO et al., 1993; SOUSA, 1993). No caso do nitrogênio, os efeitos da aplicação com maior frequência são

mais evidentes em razão da facilidade de perda no solo, principalmente nos solos de textura arenosa.

O estado de salinidade do solo também deve ser observado. Fertirrigações menos frequentes resultam em maiores quantidades de fertilizantes por vez, o que implica aumento da condutividade elétrica e do potencial osmótico da solução do solo, que podem exceder os valores aceitáveis pelas plantas. Dependendo da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, poder-se-á manter uma maior ou menor frequência de fertirrigação. A Tabela 3 apresenta dados sobre o efeito da frequência de irrigação e fertirrigação na salinidade do solo (PIZARRO, 1996).

Tabela 3. Frequência de fertirrigação e salinidade máxima da água na saída dos emissores em irrigação localizada.

Intervalo entre irrigações (dias)	Intervalo entre fertirrigações (dias)	Concentração (g L^{-1})	Condutividade elétrica (dS m^{-1})
1	1	1,5	2,3
1	2	2,0	3,1
1	3	2,5	4,0
1	4–7	4,0	6,3

Fonte: Pizarro (1996).

No caso da irrigação por aspersão, deve-se levar em conta que a frequência de fertirrigação deve ser menor ou igual à frequência de irrigação, e os demais critérios para definição da frequência serão os mesmos abordados.

De maneira geral, a absorção de macronutrientes pelas culturas, principalmente de N, P e K, segue a mesma tendência do acúmulo de matéria seca (PAPADOPOULOS, 1999). Portanto, na ausência da curva ou marcha de absorção de nutrientes, o acúmulo de

matéria seca dá uma boa aproximação. Esse mecanismo permite estimar os percentuais de acúmulo de nutrientes nas diversas fases do ciclo da cultura. Dessa forma, é possível planejar de maneira adequada o parcelamento e a distribuição dos nutrientes a serem aplicados via fertirrigação, conforme mostra o exemplo da Tabela 4.

Tabela 4. Distribuição percentual de nutrientes nas fases do ciclo da cultura de melão.

Nutrientes	Fases do ciclo da cultura (dias)							
	1–6	7–13	14–20	21–27	28–34	35–41	42–48	49–55
	Quantidade relativa de nutriente (%)							
N	3	4	6	15	27	30	10	5
K_2O	2	3	5	10	17	20	28	15

Outro exemplo, que pode ser visualizado na Tabela 5, apresenta uma sugestão com base no conhecimento da marcha de absorção do mamoeiro ‘Sunrise Solo’ (COELHO FILHO et al., 2007).

Tabela 5. Porcentagem necessária de nitrogênio, potássio e fósforo no tempo (dias após o plantio – DAP) em relação ao total recomendado para o primeiro ano de ciclo do mamoeiro cv. Sunrise Solo.

Nitrogênio		Potássio		Fósforo	
DAP	Porcentagem necessária	DAP	Porcentagem necessária	DAP	Porcentagem necessária
0–90	4,21	0–120	8,59	0–180	15,27
91–150	8,15	121–180	14,18	181–300	71,15
151–240	56,33	181–270	51,66	301–360	13,56
241–360	31,29	271–360	25,54		

Após a determinação da necessidade de nutrientes, da frequência de aplicação e da distribuição no ciclo da cultura, é importante fazer

a seleção dos fertilizantes a serem usados. A escolha dos fertilizantes deve levar em consideração a solubilidade em água, o poder corrosivo, o índice salino, a capacidade de acidez e a compatibilidade na mistura com outros. As características dos fertilizantes e os critérios de seleção estão apresentados no Capítulo 7 deste livro.

Preparo e aplicação da solução nutritiva

No preparo da solução nutritiva, deve-se levar em consideração, principalmente, o seu pH e a solubilidade dos adubos. O pH da solução deve ser mantido entre 5,5 e 6,5 (SOUSA et al., 1999c). Não há uma recomendação padrão para a concentração dos nutrientes na solução nutritiva. Essa concentração pode ser obtida a partir da concentração da solução que flui nas linhas de irrigação, conforme descrita no Capítulo 9. Quando for necessário misturar fertilizantes diferentes, é importante verificar a compatibilidade entre eles.

A aplicação da solução nutritiva na linha de irrigação deve ser iniciada quando todo o sistema estiver em pleno funcionamento, com todas as linhas cheias de água. De maneira geral, recomenda-se iniciar a aplicação da solução nutritiva após o funcionamento de aproximadamente 25% do tempo de irrigação (Ti). A aplicação da solução, ou a fertirrigação propriamente dita, deve ser feita em 50% do tempo de irrigação. O restante do tempo (25% de Ti) deve ser

utilizado para a lavagem da tubulação. O tempo de fertirrigação nunca deve ser inferior a 30 minutos (FRIZZONE et al., 1985; SHANI, 1981); no entanto, avaliações de campo têm mostrado que a estabilização da concentração da solução nas linhas de irrigação ocorre depois de 22 minutos de funcionamento da prática (SOUSA et al., 2000a). Portanto, para tempos de fertirrigação muito pequenos, ocorre risco de baixa uniformidade de distribuição de fertilizantes ao longo da área, e isso afeta o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

A aplicação de fertilizantes tradicionalmente usados em adubação convencional, por não serem apropriados para fertirrigação, pode acarretar solubilidade não adequada. Nesse caso, deve-se dar preferência aos mais solúveis e, no caso do uso de bombas injetoras ou venturi, pode-se manter a solução dentro do tanque aberto, sob agitação contínua durante a injeção para evitar perdas. No caso da bomba injetora hidráulica, é necessário usar o filtro na admissão da água à bomba e na mangueira de sucção. Terminada a fertirrigação, mantém-se a bomba em funcionamento com água limpa por um período de 5 a 10 minutos, de forma que sua limpeza seja assegurada.

Pode-se também preparar a solução antes da fertirrigação em um reservatório e deixá-la em repouso por um período de 20 a 30 minutos. Depois disso, transfere-se a solução para outro reservatório, de onde será bombeada para o sistema de irrigação, deixando no primeiro apenas a parte decantada. Nesse procedimento, a eficiência da fertirrigação é menor em razão das partes de nutrientes que ficaram sedimentadas no reservatório.

Para fazer a manutenção do sistema de injeção de fertilizantes, no caso de bombas injetoras de acionamento hidráulico, deve-se conectar a mangueira de entrada de água da bomba injetora à tubulação e deixar a mangueira de injeção desconectada; em seguida, a mangueira de sucção deve ser colocada num recipiente com água limpa. A bomba deve funcionar por 15 minutos, após os quais a mangueira é desconectada. O exterior da bomba pode ser limpo usando-se produto anticorrosivo nas partes metálicas. As partes móveis metálicas da bomba podem ser lubrificadas.

Monitoramento da fertirrigação

O monitoramento da fertirrigação deve ser feito com o objetivo de avaliar os processos de aplicação e distribuição dos fertilizantes e seus efeitos no sistema solo-planta. Esse monitoramento deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes, observando-se a concentração da solução injetada, a concentração da solução final na saída dos emissores, a uniformidade de distribuição ao longo da área, a distribuição e a dinâmica dos nutrientes no perfil do solo.

De acordo com Villas Bôas e Souza (2008), o acompanhamento da água ou solução que está sendo aplicada na irrigação/fertirrigação pode ser feito periodicamente nas seguintes etapas do processo:

a. Na água usada para irrigação − Observar se, ao longo do ano, ocorre variação do pH e da condutividade elétrica (CE), principalmente em água captada de rios.
b. Na solução estoque de fertilizante preparada − A condutividade elétrica da solução estoque é a soma da CE de cada sal adicionado. Se, por exemplo, são colocados na

solução 10 g de KCl + 20 g de $Ca(NO_3)_2$ por litro de água, a CE nessa solução é dada pela soma da CE dos dois fertilizantes. Valores de CE menores que os estimados significam que as quantidades solubilizadas são menores que as esperadas. Isso pode ocorrer por causa de erros de pesagem dos fertilizantes ou solubilidade inadequada dos sais dissolvidos.

c. Na solução que sai dos emissores – Com base na solução-estoque e na taxa de injeção do fertilizante no sistema (diluição da solução), é possível calcular qual será a CE nas saídas dos emissores. Nessa determinação, é possível identificar problemas de erros de dosagens, bem como desuniformidade na diluição e na aplicação dos fertilizantes via irrigação. Por meio da CE, podem-se alterar fontes e quantidades de fertilizantes aplicadas, quando for identificada na solução uma CE acima do que é permitido para a cultura.
d. Na solução do solo − Determinada no extrato de saturação da camada onde se concentram as raízes ou por meio de extrator de solução. Esse valor permite que se tenha a ideia do potencial salino da solução do solo. Além disso, quando a solução do solo é retirada de camadas mais profundas, é possível diagnosticar se está ocorrendo lixiviação de nutrientes.

O acompanhamento da concentração da solução injetada na tubulação de irrigação e na saída dos emissores deve ser feito por meio de amostragens coletadas durante a aplicação e, posteriormente, medindo-se a condutividade elétrica e/ou os teores dos nutrientes aplicados via água de irrigação. Com esses valores encontrados, procede-se à determinação da uniformidade de valores e verifica-se se os valores estão coerentes com o que foi planejado.

A uniformidade de distribuição deve ser feita a cada dois meses para detectar possíveis entupimentos na tubulação e nos emissores. A uniformidade de distribuição adequada deve estar acima de 90%. Se o percentual for menor, é possível que haja variações de pressão no sistema de irrigação, vazamentos na tubulação e emissores com defeitos e/ou com entupimento. Se esses defeitos forem constatados, as correções devem ser feitas imediatamente.

Na aplicação de nutrientes via água de irrigação, um dos pontos importantes que devem também ser acompanhados e monitorados é o movimento de nutrientes no solo, e devem-se fazer avaliações tanto do ponto de vista técnico, quanto econômico e ambiental.

O manejo inadequado de água no solo traz sérios problemas relacionados às perdas de nutrientes, principalmente por lixiviação. Aplicações de água além da capacidade de retenção do solo podem causar grandes perdas de solo e de nutrientes por lixiviação, bem como escoamento superficial e erosão. O nitrogênio, o cálcio, o potássio e o magnésio apresentam maiores taxas de perda por lixiviação (SANCHEZ, 1981).

A lixiviação dos íons através do perfil do solo é uma das principais causas de perdas de nutrientes e contribui sensivelmente para a acidificação do solo (REICHARDT, 1986). Isso indica a necessidade de adotar manejo de água e nutrientes com bastante critério, principalmente nos solos arenosos (SOUSA et al., 1992). Dessa forma, no uso da fertirrigação nesse tipo de solo, o controle da concentração de nutrientes na solução do solo é bem mais complexo, requerendo melhor acompanhamento.

Em cultivos com fertirrigação, é muito importante realizar o acompanhamento da dinâmica ou distribuição dos nutrientes no perfil do solo. Essa prática permite estabelecer ou ajustar a aplicação adequada dos fertilizantes e o manejo da água de irrigação, além de prevenir danos ambientais como a salinização dos solos e a contaminação do lençol subterrâneo e de fontes de água superficiais. Esse acompanhamento pode ser feito por diferentes meios, tais como: a) amostragens do solo e posterior determinação da condutividade elétrica e da concentração de íons,

que utiliza o extrato de saturação do solo, ou por amostragens de solução do solo; b) extratores de solução do solo, confeccionados com cápsulas porosas utilizadas para confecção de tensiômetros, que são de fácil manuseio, conforme Figuras 8 e 9.

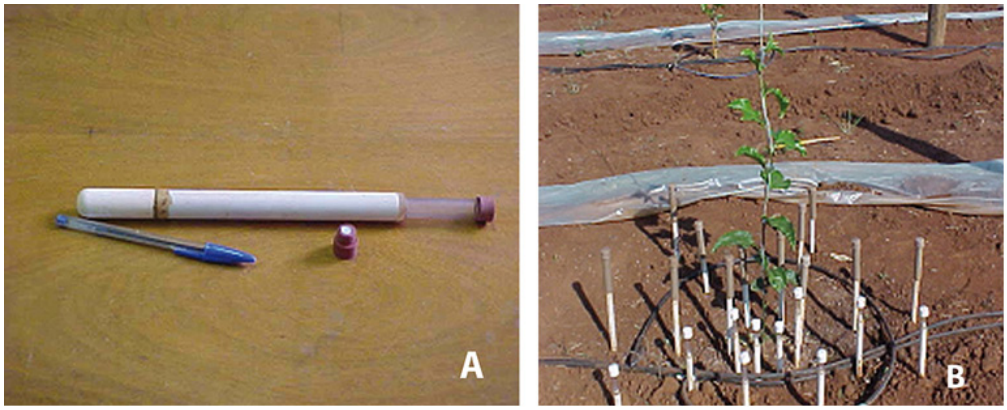


Figura 8. Extratores de solução confeccionados com cápsula porosa de cerâmica e tubo de PVC rígido, com a borracha de vedação na extremidade (A), instalados em torno de plantas de maracujazeiro amarelo (B).

Fotos: Valdemício Ferreira de Sousa



Figura 9. Procedimento de extração de solução do solo utilizando-se extratores de cápsula porosa e seringa descartável: vácuo (esquerda) e extração da solução (direita).

Fotos: Maurício Antônio Coelho Filho

Depois de instaladas no solo nas profundidades desejadas, a extremidade superior da cápsula deve ser fechada. Além disso, deve ser feita a extração do ar interno (vácuo) para facilitar a entrada da solução pela cápsula. A retirada da solução pode ser feita com pequenas bombas de vácuo ou com seringas descartáveis, da seguinte forma: a) fazer um vácuo com uma tensão em torno de 70 kPa, podendo-se utilizar uma seringa descartável; b) em torno de 24 horas após o vácuo, proceder à retirada da solução do extrator, utilizando-se a mesma seringa, acoplada a uma mangueira flexível, para posterior análise em laboratório (Figura 9).

Recomenda-se a utilização de pelo menos uma bateria de extratores de solução, instalados pelo menos em duas profundidades. Pode-se instalar um extrator na profundidade de maior concentração de raízes, que é em torno de 0,40 m para o maracujazeiro. O outro extrator deve ser instalado a uma profundidade tal (abaixo da região efetiva de absorção de nutrientes pelas raízes) que permita detectar lixiviação de nutrientes. No caso de gotejamento próximo à fileira de plantas, os extratores devem ser instalados entre o gotejador (a 0,10 m de distância) e a planta. No caso de microaspersão, se o emissor for localizado próximo à planta, os extratores devem ser instalados a 0,50 m da planta; se o emissor for localizado entre quatro plantas, deve-se manter a distância de 0,50 m entre o extrator e o microaspersor.

Além dos extratores de solução, podem-se utilizar também sensores de condutividade elétrica e de pH para fazer o monitoramento da distribuição de nutrientes e da variação de acidez no perfil do solo. Esses sensores são instalados no solo, na profundidade desejada, e, por meio de visor de leituras, podem-se acompanhar frequentemente as variações da condutividade elétrica e do pH da

solução do solo. Os sensores podem ser conectados ao sistema de injeção de fertilizantes e torná-lo automático, com leituras feitas em um leitor digital específico.

Dias et al. (2003) destacam a utilização de medidor de íons compacto Horiba, como o Cardy Metter, que se encontra no mercado brasileiro há algum tempo. Esse aparelho pode facilitar o monitoramento da fertirrigação e do estado nutricional das plantas pela praticidade de uso e de custo, quando comparado às análises laboratoriais, pois permite quantificar os íons existentes na solução do solo e na seiva da planta. Ao utilizarem esse medidor de íons compacto, os autores observaram que é possível determinar com melhor precisão a concentração de nitrato em soluções, quando comparado aos resultados obtidos pelos métodos laboratoriais (FIA).

Após a coleta da solução do solo, procede-se às respectivas determinações da CE, do pH e dos nutrientes, e posteriores interpretações dos resultados. No caso da utilização de sensores, as leituras já são feitas diretamente no equipamento, cujas interpretações devem seguir os mesmos procedimentos.

Referências

BORGES, A. L.; CALDAS, R. C.; LIMA, A. de A.; ALMEIDA, I. E. de. Efeito das doses de NPK sobre os teores de nutrientes nas folhas e no solo, e na produtividade do maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 208-213, 2002.

BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação: banana. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 77-84.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; CRUZ, L. L.; SOUZA, L. F. da S.; OLIVEIRA, A. M. G. de; SILVA, T. S. M. Marcha de absorção de macro e micronutrientes do mamoeiro sunrise solo. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. N. da; COSTA, A. de F. S. da. (Org.). **Papaya Brasil**: manejo, qualidade e mercado do mamão. Vitória: Incaper, 2007. p. 27-40.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, T. S. M.; SANTOS, D. B. dos. Produtividade do mamoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e de potássio aplicados via água de irrigação. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; REZENDE, R. S. (Org.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 1, p. 78-87.

COELHO, E. F.; SANTANA, G. S.; SANTOS, M. R.; COSTA, E. L. Níveis de nitrogênio, potássio e água para a bananeira cv. ‘prata anã’ cultivada no norte de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: SBEA, 2006. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. de; PINTO, J. M. Manejo de fertirrigação em fruteiras. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 6, n. 1, p. 67-70, 2003.

DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; GLOAGUEN, T. V. Avaliação e calibração de métodos rápidos para determinação de nitrato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 30., 2003, Goiânia. **Anais**... Goiânia: SBEA, 2003. 1 CD ROM.

DOMINGUEZ VIVANCOS, A. D. **Fertirrigación**. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1993. 217 p.

FRIZZONE, J. A.; ZANINI, J. R.; PAES, L. A. D.; NASCIMENTO, V. M. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: Unesp, 1985. 31 p. (Boletim Técnico, 2).

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-84.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; CHOUDHURY, E. N.; PEREIRA, J. R. Adubação via água de irrigação na cultura do melão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 11, p. 1263-1268, 1993.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; PEREIRA, J. R.; COSTA, N. D.; BRITO, L. T. L.; FARIA, C. M. B.; MACIEL, J. L. **Sistema de cultivo de melão com aplicação de fertilizantes via água de irrigação**. Petrolina: EMBRAPA-CPTASA, 1996. 24 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 36).

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3. ed. Madrid, ES: Mundi Prensa, 1996. 513 p.

REICHARDT, K. Dinâmica de íons no solo. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1986, Campinas. **Anais**... Campinas: Fundação Cargil, 1986. p. 43-52.

SANCHEZ, P. A. **Suelos del tropicos**: caracteristicas y manejo. San José: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1981. 660 p.

SHANI, M. **La fertilización combinada com el riego**. Tel Aviv, IL: Ministerio del Agricultura, 1981. 36 p.

SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A. Fertirrigação na Embrapa Hortaliças. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 433-440.

SOUSA, V. F. de. **Freqüência de aplicação de N e K via água de irrigação por gotejamento no meloeiro (Cucumis melo L. cv. Eldorado 300) em solo de textura arenosa**. 1993. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SOUSA, V. F. de. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. *f. flavicarpa* Deg)**. 2000. 178 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUSA, V. F. de; ANDRADE, C. L. T.; SOUSA, A. P.; AGUIAR NETTO, A. O. Redistribuição de água em solo de textura arenosa sob irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 21., 1992, Santa Maria. **Anais**... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 963-973.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FOLEGATTI, M. V. Fertirrigation management by drip irrigation for melon crop cultivated in sandy soils. In: ASAE/CSAE-SCGR ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Toronto, 1999a. **Proceedings**... Saint Joseph: ASAE, 1999a. 1 CD-ROM.

SOUSA, V. F. de; CONCEIÇÃO, M. A. F.; FOLEGATTI, M. V.; ALENCAR, C. M.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. L. Distribuição de fertilizantes sob diferentes concentrações da solução aplicada via água de irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 28., 2000, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000a. 1 CD-ROM.

SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E. F.; VIANA, F. M. P.; SILVA, P. H. S. da. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1999c. 68 p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 21).

SOUSA, V. F. de; SILVA, F. C. da; COELHO, E. F.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, S. da S. Crescimento e produtividade do meloeiro sob diferentes doses de nitrogênio e de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Pucon. **Resumenes**... Pucon: [s.n.], 1999b. 1 CD-ROM.

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. P. Efeito da frequência de aplicação de N e K por gotejamento no na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 3, p. 36-45, 1998.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; REZENDE, R. S. (Org.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 289-317.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; BASTOS, E. A.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Doses de nitrogênio e de potássio por fertirrigação na produtividade do meloeiro. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 1998, La Plata. **Avances en el manejo del suelo y água en la engenharia rural Latinoamericana**. La Plata: Universidad Nacional de la Plata, 1998. p. 195-200.

SOUSA, V. F.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. L.; ALENCAR, C. M. Produtividade do maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio via fertirrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 4, p. 497-505, 2003.

SOUSA, V. F.; VELOSO, M. E. C.; VASCONCELOS, L. F. L.; RIBEIRO, V. Q.; SOUZA, V. A. B.; D'ALBURQUERQUE JUNIOR, B. S. Nitrogênio e potássio via água de irrigação nas características de produção da bananeira 'Grand Naine'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 865-869, 2004.

VILLAS BÔAS, R. L.; SOUZA, T. R. de. Fertirrigação: uso e manejo. In: SIMPÓSIO EM SISTEMAS AGROSILVIPASTORIS NO SEMI-ÁRIDO, 1., 2008, Campina Grande. **Anais**... Campina Grande: PPGZ: CSTR: UFCG, 2008. p. 1-14.

Capítulo 11

Irrigação e fertirrigação na cultura do abacaxi

Otávio Alvares de Almeida
Luiz Francisco da Silva Souza

Introdução

Nos últimos anos, a área de cultivo de abacaxi em condições de irrigação tem aumentado consideravelmente no Brasil. Isso se deve ao acirramento da competição nos mercados, que têm dado relevância cada vez maior ao emprego de técnicas modernas de cultivo que resultem na elevação da produtividade e da qualidade da produção, somado ao fato de a irrigação permitir o deslocamento das colheitas para períodos de entressafra, com preços mais favoráveis do produto. Dessa forma, o uso da irrigação pode tornar a oferta de abacaxi mais uniforme ao longo do ano, o que é fundamental para a conquista e a manutenção de novos mercados. Além disso, a fruticultura tropical, incluindo o cultivo do abacaxi como uma das principais opções, tem-se tornado uma alternativa muito procurada para projetos agroindustriais, sobretudo no Semiárido e no Cerrado, onde a pluviosidade insuficiente, em volume e em distribuição, inviabiliza a exploração econômica do abacaxi sem irrigação.

Necessidades hídricas

Aspectos morfofisiológicos

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merrill) é tido como uma planta com necessidades hídricas relativamente reduzidas, se comparada a outras plantas cultivadas. A sua adaptação a condições de deficiência hídrica decorre de uma série de características morfológicas e fisiológicas típicas de plantas xerófilas, tais como: a capacidade de armazenar água na hipoderme das folhas, de coletar água eficientemente, inclusive o orvalho, por meio de suas folhas em forma de canalete (Figura 1), e de reduzir bem as perdas de água por transpiração. Entre os mecanismos de resistência à transpiração, destaca-se a redução da carga térmica sobre as folhas em virtude da alta reflexão da superfície inferior das folhas, por conta da presença dos tricomas (pelos de cor prateada). Além disso, a distribuição espacial e o porte ereto das folhas permitem, respectivamente, uma ventilação adequada e uma redução do ângulo de incidência dos raios solares. A transpiração é minimizada ainda pelo revestimento da epiderme foliar por uma cutícula espessa, pelo fechamento dos estômatos durante grande parte do dia, pela baixa densidade estomática e pela localização dos estômatos ao longo de sulcos pequenos e paralelos protegidos por tricomas na face inferior (abaxial) das folhas (ALMEIDA; REINHARDT, 1999).



Figura 1. Captação e armazenamento de água nas folhas pelo abacaxizeiro.

Foto: Otávio Alvares de Almeida

A reduzida taxa de transpiração (0,3 mg a 0,5 mg de água cm^{-2} de área foliar h^{-1}), cerca de dez vezes menor que aquela de plantas mesofíticas, e o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), de assimilação predominantemente noturna de gás carbônico (CO_2), característica única do abacaxizeiro em comparação às demais plantas cultivadas em grande escala, conferem à planta uma alta eficiência no uso de água, assim, ela consome menos de 100 g de água para cada grama de matéria seca acumulada (EKERN, 1965; PY et al., 1984). Apesar de altamente eficiente quanto ao consumo de água, esse tipo de metabolismo, ao limitar a perda de vapor d'água por meio dos estômatos, também limita a entrada de CO_2 por eles, resultando numa taxa de assimilação fotossintética inferior à das plantas mesofíticas com metabolismo C_3 ou C_4. O MAC é, portanto, uma adaptação que permite a continuação do crescimento, embora lento, e a sobrevivência do abacaxizeiro em condições de

deficit hídrico severo, porém, nessas condições, resulta numa baixa produtividade da planta (ALMEIDA; REINHARDT, 1999).

O abacaxizeiro é, no entanto, uma planta de MAC facultativo, podendo mudar para a fixação fotossintética do tipo C_3 quando as condições ecológicas, sobretudo o suprimento hídrico, são favoráveis ao seu desenvolvimento. Assim, para a obtenção de produtividade elevada, é necessário um suprimento hídrico adequado, via irrigação quando necessária, de forma que as plantas não sejam impelidas a acionar o seu principal mecanismo de economia de água, o MAC (ALMEIDA; REINHARDT, 1999).

Aspectos quantitativos e fenológicos

Um cultivo comercial de abacaxi exige em geral uma quantidade de água equivalente a uma precipitação mensal de 60 mm a 100 mm (PY et al., 1984). Segundo Neild e Boshell (1976), em áreas com pluviosidade anual inferior a 500 mm, o abacaxizeiro só deve ser cultivado com irrigação. Conforme o mesmo autor, mesmo em áreas com pluviosidade total anual acima desse limite, a irrigação é necessária se ocorrer um período de 3 meses consecutivos com chuvas inferiores a 15 mm $mês^{-1}$ ou se ocorrer um período de 4 meses com menos de 25 mm $mês^{-1}$, ou ainda 5 meses com chuvas inferiores a 40 mm $mês^{-1}$. Souto et al. (1998) e Almeida et al. (1999), em trabalhos realizados, respectivamente, com as cultivares Pérola e Smooth Cayenne em Jaíba, norte de Minas Gerais, verificaram que a parcela irrigada com cerca de 780 mm durante o ano, mas recebendo lâminas de água menores que 15 mm durante 6 meses, não produziu ou os frutos produzidos não tinham nenhum valor comercial. Numa outra parcela, que recebeu 980 mm de água,

porém com ocorrência de cinco meses com lâminas menores que 40 mm, a produção foi, para as cultivares Pérola e Smooth Cayenne, respectivamente, 133% e 106% menor que as parcelas que não tiveram problemas de deficit hídrico (Figura 2).



Figura 2. Abacaxizeiros com deficit hídrico (frente) e sem deficit hídrico (fundo), variedade Pérola (direita) e variedade Smooth Cayenne (esquerda).

Foto: Otávio Alvares de Almeida

A demanda de água do abacaxizeiro varia ao longo do ciclo da planta e, a depender do seu estádio de desenvolvimento e das condições de umidade do solo, a demanda diária de água pode ser de 1,3 mm a 5,0 mm (COMBRES, 1983; MEDCALF, 1982; PINON, 1978; PY et al., 1984). Em geral, a demanda hídrica da planta aumenta com a idade e o grau de desenvolvimento vegetativo atingido. As necessidades hídricas são, portanto, menores durante o início do ciclo vegetativo. No entanto, o suprimento hídrico é crítico

durante os primeiros 2 meses após o plantio, fase de emissão de raízes (COMBRES, 1983; DU PLESSIS, 1989), quando um deficit hídrico pode causar uma desuniformidade no crescimento das plantas, prejudicial ao manejo e ao rendimento da cultura. A partir do segundo mês, as necessidades hídricas crescem continuamente, em razão do desenvolvimento da planta, até atingirem o sexto mês após o plantio. A partir daí, o consumo de água é máximo e constante, permanecendo nesse patamar até a formação total do fruto, mais ou menos 60 dias antes da colheita, quando o consumo volta a decrescer. Nesse período, a planta e sobretudo a qualidade organoléptica do fruto são bastante sensíveis a um excesso de água, com um pico de sensibilidade a um mês da colheita (INSTITUT DE RECHERCHES SUR LES FRUITS ET AGRUMES, 1984), por isso, aconselha-se a suspensão da irrigação mais ou menos 10 dias antes da colheita. Por sua vez, um período de deficiência de água na fase de desenvolvimento do fruto pode também afetar seriamente o peso do fruto, que pode cair em até 750 g na cv. Smooth Cayenne (COMBRES, 1983). Na Figura 3, são apresentados os diferentes estádios de desenvolvimento do abacaxizeiro e os respectivos valores prováveis de Kc, segundo Almeida (2001).

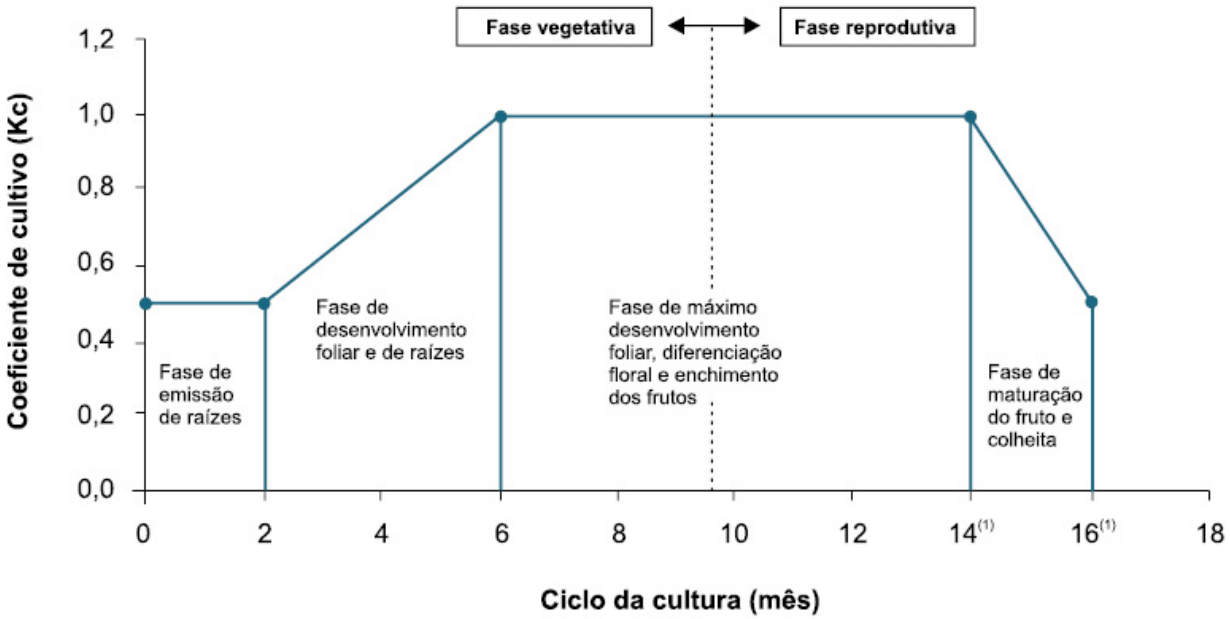


Figura 3. Estádios de desenvolvimento do abacaxizeiro com os seus prováveis coeficientes de cultivo (*Kc*).

(1) A fase de maturação do fruto e colheita completa-se mais ou menos 6 meses após o tratamento de indução floral.
Fonte: Almeida (2001).

Uma vez conhecidos os períodos fenológicos mais importantes para a irrigação, deve-se definir a frequência dessa prática. Existem diversos parâmetros que podem ser utilizados isoladamente ou, de forma mais segura, conjuntamente para determinar essa prática. De acordo com Py et al. (1984), deve-se irrigar o abacaxizeiro quando os tensiômetros colocados a 15 cm de profundidade do solo estiverem marcando 15 kPa.

A relação estreita observada entre a umidade do solo e a elongação foliar do abacaxizeiro sugere a possibilidade do uso de mensurações do crescimento da folha em comprimento como meio para determinar a necessidade de irrigação (MEDCALF, 1982). Um outro modo de avaliar a necessidade de água do abacaxizeiro é pelo exame visual do tecido aquífero (MEDCALF, 1982) após o corte transversal da folha “D”, a um terço da altura da sua base,

considerando-se que essa folha é a adulta mais jovem, que praticamente terminou seu crescimento e traduz o estádio fenológico da planta do abacaxi (SOUZA et al., 2001). A maior ou a menor espessura do tecido aquífero (faixa aquosa translúcida) indicará a necessidade de irrigação. Medcalf (1982) recomendou uma relação de 1:2 entre a espessura desse tecido translúcido e a espessura dos tecidos verdes da folha para plantas em fase de crescimento vegetativo e uma relação 1:1 para plantas na fase reprodutiva (Figuras 4a e 4b).

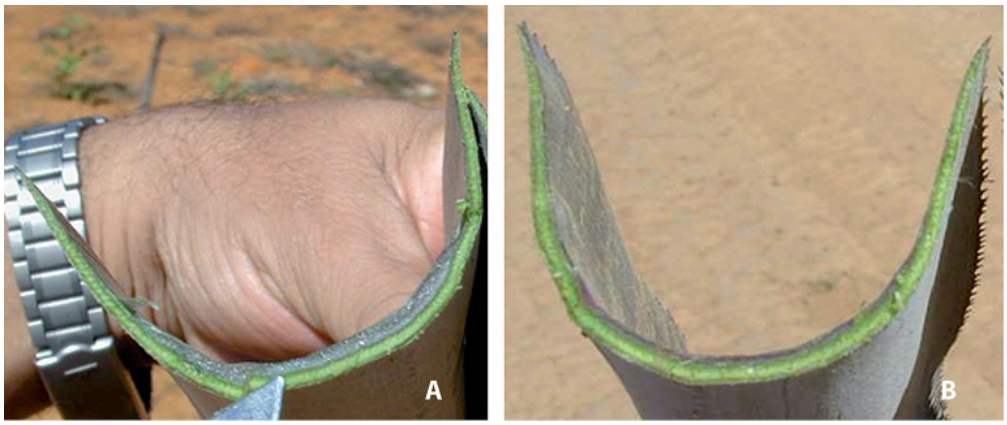


Figura 4. Tecido translúcido de uma planta de abacaxi sem estresse hídrico (A) e com necessidade de irrigação (B).

Fotos: Nilton Fritzons Sanches

Salinidade e o cultivo do abacaxi

As espécies vegetais podem ser classificadas em relação à sua sensibilidade à salinidade do solo com base em determinados critérios, como a tolerância à concentração do íon cloreto no solo com umidade próxima à “capacidade de campo” (WINTER, 1976), o

nível de salinidade no qual ocorre uma redução em 50% da produtividade da cultura (RICHARDS, 1954) e o nível máximo de salinidade sem haver perdas da produtividade (MAAS, 1984).

A qualidade da água usada na irrigação é de fundamental importância para o sucesso dessa prática no cultivo do abacaxi. A água proveniente de fontes superficiais (rios, lagos, etc.) está sujeita a contaminações de todos os tipos de poluentes, como descargas não tratadas de fábricas, fazendas e cidades. Além dos resíduos orgânicos, o teor de sais dissolvidos na água deve ser uma preocupação constante do agricultor, pois a adição contínua de sais ao solo pode contribuir para a elevação dos seus teores na solução do solo, alcançando níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas (MEDEIROS; GHEYI, 1994).

Segundo Daker (1984), as águas usadas na irrigação podem conter de 200 kg a 5.000 kg de sal por hectare na aplicação de uma lâmina de 300 mm ano^{-1}. Como lâminas de até 1.500 mm são comumente aplicadas, podem-se considerar entre 1.000 kg e 25.000 kg ha^{-1} ano^{-1} as quantidades de sais levadas ao solo pelas águas usadas na irrigação, sendo por isso necessária uma constante lavagem do solo para drenar o excesso de sais e não o tornar salino progressivamente.

Poucas informações existem sobre a tolerância do abacaxizeiro à salinidade. Sideris (1955) relatou a ocorrência de necroses nas pontas das folhas de abacaxizeiros plantados num raio de 2,5 km do mar, em ilhas do Havaí, expostos à brisa marítima contendo água salina. Os sintomas dos danos são faixas alternadas de coloração marrom-escura e marrom-clara, sendo mais intensos em folhas velhas, sujeitas a período mais longo de absorção de cloreto, do que

em folhas jovens. A deposição do sal e a severidade dos sintomas diminuíram com a distância do mar. Aplicações de soluções de cloreto em plantas localizadas em campos fora do alcance dos ventos marítimos produziram sintomas similares àqueles causados pela água marinha, além de reduzirem o rendimento e a qualidade dos frutos. Os danos foram atribuídos ao cloro e não ao sódio, outro elemento predominante na água marinha. Os efeitos inibidores e tóxicos do cloreto foram mais acentuados em plantas deficientes em nitrogênio e sobretudo potássio (SIDERIS; YOUNG, 1954). A elevação dos níveis desses nutrientes disponíveis às plantas permitiu amenizar consideravelmente a inibição do crescimento e a perda de peso do fruto do abacaxi.

Wambiji e El-Swaify (1974) estudaram em casa de vegetação o comportamento de mudas do tipo filhote e de plantas de abacaxi ‘Smooth Cayenne’ transplantadas aos 8 e 12 meses de idade, em solo franco-argiloso, com salinidade correspondente à condutividade elétrica do extrato de saturação do solo de 0 dS m^{-1} a 8 dS m^{-1} (equivalentes a 0 mg L^{-1} a 5.000 mg L^{-1} de sais totais dissolvidos ou concentrações molares de 0 mM a 88 mM de NaCl, sendo esse o sal mais comum na maioria dos solos agrícolas). Reduções em peso seco e fresco de folhas e plantas em resposta aos níveis crescentes de salinidade permitiram concluir que o abacaxizeiro pode ser classificado como planta de alta tolerância à salinidade, com comportamento similar ao das culturas consideradas as mais tolerantes à salinidade, como a cevada, o algodão e o aspargo. Observou-se ainda que a tolerância do abacaxizeiro à salinidade cresce com a idade da planta. Tais resultados, apesar de dependerem de confirmação para o cultivo do abacaxi em condições de campo, indicam a possibilidade do uso dessa cultura como uma

opção para a agricultura em solos com problemas de salinidade (Figura 5).



Figura 5. Lavouras de abacaxi com sintoma característico de clorose férrica, em razão da salinidade do solo (A), e sem sintoma de deficiência nutricional (B).

Foto: Otávio Alvares de Almeida (A), Waldir Aparecido Marouelli (B)

Para Maas (1984), o abacaxizeiro está incluído entre as espécies moderadamente tolerantes, entretanto não apresentou qualquer índice relacionando produção e níveis de salinidade.

Em trabalho desenvolvido em casa de vegetação, com mudas de abacaxi da variedade Smooth Cayenne, plantadas em vasos e em material de solo de textura franco-arenosa, utilizando níveis de salinidade da água de irrigação variando de 0 dS m^{-1} (água destilada) a 7 dS m^{-1}, Marinho et al. (1998) concluíram que o crescimento e o desenvolvimento do abacaxizeiro são afetados com o aumento da concentração salina na água de irrigação, com efeitos mais drásticos a partir de 4 dS m^{-1}. Também observaram a ocorrência crescente de necrose na extremidade do limbo das folhas das plantas, a inibição do enraizamento das mudas e a

redução da área foliar e da fitomassa, quando os níveis de salinidade estão acima de 3 dS m^{-1}. Além disso, verificaram que o metabolismo da planta se mantém ativo mesmo quando irrigada com água de salinidade maior que 6 dS m^{-1}.

Respostas da planta à irrigação

O crescimento foliar é um dos processos fisiológicos mais sensíveis à deficiência hídrica. A redução do crescimento das folhas, em largura, primeiro das folhas jovens e depois das folhas mais maduras (folhas “D”) do abacaxizeiro, é observada pouco tempo após o início do estresse hídrico (PY et al., 1984). Com o prolongamento do período de deficiência hídrica, outros componentes do crescimento foliar são afetados na sequência seguinte: peso da folha, comprimento da folha e emissão foliar. No caso de estresse hídrico muito severo, o crescimento foliar da planta pode ser nulo ou até podem ser constatadas reduções da largura, do peso e do comprimento. Quando o suprimento hídrico é retomado, a recuperação é mais rápida nas folhas jovens, sobretudo quanto à expansão da largura dessas folhas (PY et al., 1984).

Sideris e Krauss (1928) observaram que o abacaxizeiro paralisa o seu crescimento se a umidade do solo for apenas 15% acima da sua umidade higroscópica. Abaixo desse nível de umidade, observaram o definhamento do sistema radicular, a diminuição do teor de água nos tecidos foliares, a inibição da assimilação fotossintética e mudanças da coloração das folhas (Figura 6). O crescimento da planta foi adequado quando a umidade do solo

esteve na faixa de 20% a 30% acima da umidade higroscópica. Segundo Bartholomew e Kadzimin (1977), o deficit hídrico reduz o número e o comprimento das raízes, as quais, mesmo após a retomada do crescimento, continuam finas e frágeis.

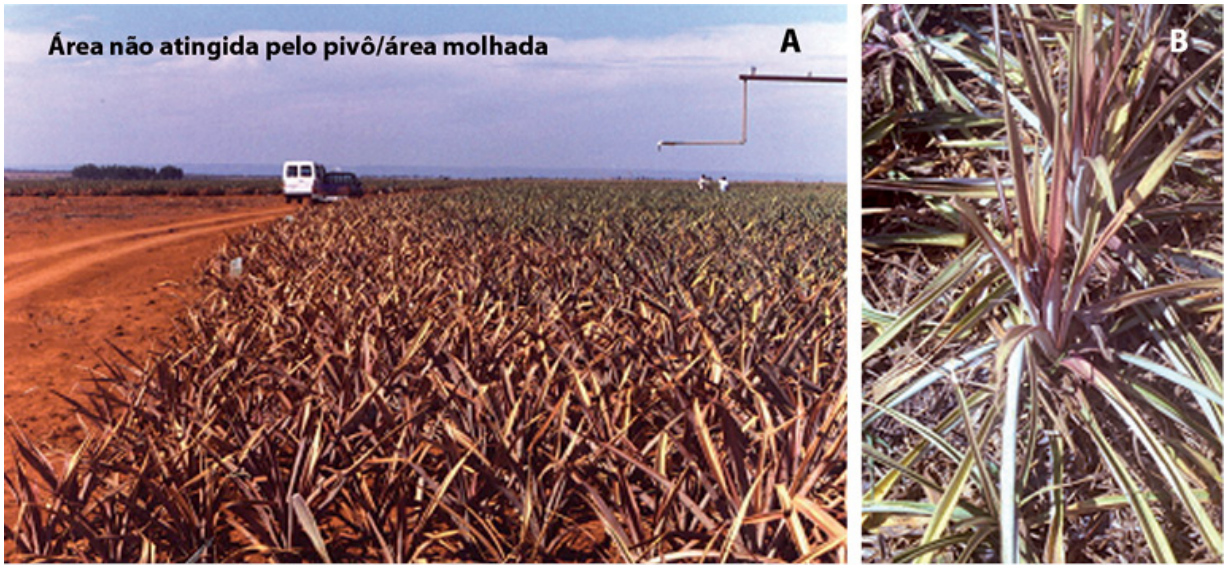


Figura 6. Folhas avermelhadas e murcha generalizada dos abacaxizeiros afetados por estresse hídrico em razão do planejamento inadequado do projeto de irrigação (A) e característica da planta com estresse hídrico (B).

Fotos: Otávio Alvares de Almeida

Ao estudar lâminas de irrigação de 0 mm, 8 mm, 16 mm e 24 mm de equivalência de precipitação, com frequências diária, semanal e mensal, Tay (1974) concluiu que o crescimento vegetativo do abacaxizeiro respondia significativamente a níveis crescentes de irrigação. A lâmina de 8 mm foi a melhor para o crescimento da planta em altura ao passo que a de 16 mm deu a melhor resposta para o número de folhas emitidas independentemente da frequência.

Almeida et al. (1999), Almeida (2001), Almeida et al. (2003) verificaram, respectivamente, no Município de Jaíba, em Cruz das

Almas, BA, em área de tabuleiros costeiros, e na área “F” do Projeto Jaíba (Semiárido de Minas Gerais), que os pesos verdes e seco da folha “D” foram influenciados pelo aumento das lâminas de irrigação. Também Souto et al. (1998) fizeram as mesmas observações no Semiárido mineiro.

As respostas positivas do crescimento vegetativo da planta à irrigação refletem-se, em geral, em rendimentos maiores da cultura. No Havaí, a irrigação durante a fase de frutificação proporcionou plantas maiores e mais nutridas em fósforo e potássio, o que resultou em ganhos expressivos na produtividade da cultura, com aumento de 450 g no peso por fruto (MEDCALF, 1982). Na Costa do Marfim, a irrigação nessa mesma fase do ciclo da planta permitiu aumento de até 700 g no peso médio do fruto (COMBRES, 1983). Estudos realizados naquele país africano de clima tropical mostraram ainda que, com irrigação, o peso seco da folha “D” atingiu 75 g aos 6 meses e meio de idade das plantas da cv. Smooth Cayenne e, sem irrigação, apenas 70 g aos 9 meses após o plantio. Com a folha “D” pesando 95 g, podem-se obter 75 t ha^{-1} de frutos para exportação in natura, enquanto com 70 g colhem-se apenas 55 t ha^{-1} (COMBRES, 1983).

A prática da irrigação, ao garantir um suprimento hídrico ótimo às plantas, também favorece um melhor aproveitamento dos nutrientes minerais colocados em disponibilidade para as plantas por meio de adubações. Em trabalho conduzido em condições ambientais controladas, Tay (1974) demonstrou a importância das condições de umidade do solo para o aproveitamento dos nutrientes pelo abacaxizeiro, com reflexos positivos sobre a produção e a produtividade da cultura. Ao variar o teor de umidade do solo conforme a maior ou menor proximidade do lençol freático em

relação à superfície, a acumulação de macronutrientes nas folhas da planta foi alterada. Os teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio foram baixos, quando a umidade na rizosfera foi próxima à saturação. Os teores desses nutrientes cresceram com a redução da umidade do solo pelo abaixamento do nível freático para 30 cm a 50 cm de profundidade. Um abaixamento ainda maior do nível freático resultou em reduções dos teores foliares dos nutrientes.

Em estudo realizado na Nigéria, Asoegwu (1987) observou que o uso da irrigação permite reduzir as doses de adubo nitrogenado aplicado à cultura do abacaxi, obtendo-se produtividades semelhantes àquelas alcançadas com doses maiores de nitrogênio na cultura em condições de sequeiro. A dose de 150 kg ha^{-1} de nitrogênio, com irrigação a cada 7 dias, para atender a 50% do uso consuntivo, descontada a precipitação efetiva, foi a mais vantajosa com base na relação custo/benefício. Em outro estudo, Asoegwu (1988) constatou uma interação da irrigação com a fertilização potássica do abacaxizeiro, que afetou tanto o crescimento vegetativo da planta (número de folhas) como a duração do ciclo da cultura e o peso do fruto. Nas condições ecológicas da Nigéria, concluiu-se que a produção de frutos para o mercado in natura é máxima com a combinação de 150 kg ha^{-1} de nitrogênio, 200 kg ha^{-1} de potássio e irrigação com uma lâmina de água de 20 mm a cada 7 dias.

Em trabalho realizado em área do Projeto Jaíba, em Mocambinho, MG, nas condições semiáridas, utilizando-se as cultivares Pérola, Smooth Cayenne, Perolera e Primavera, plantadas em espaçamento de 0,80 m x 0,30 m e irrigadas por aspersão convencional, Cunha e Rocha (1993) verificaram que apenas a

cultivar Perolera não apresentou um crescimento vegetativo satisfatório e que, na colheita, os frutos da cultivar Pérola variaram de 800 g a 1.300 g e os frutos da cv. Smooth Cayenne tiveram peso médio de 1.000 g.

Souto et al. (1998) e Almeida et al. (1999), em estudos conduzidos na área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), em Jaíba, utilizando as cultivares Pérola e Smooth Cayenne respectivamente, trabalhando com lâminas de irrigação crescentes de 980 mm, 1.328 mm e 1.576 mm po ano, informaram que a produtividade e o peso médio dos frutos para a variedade Pérola foram de 18,1 t ha^{-1}, 42,1 t ha^{-1} e 49,1 t ha^{-1} e de 524 g, 859 g e 990 g, enquanto para a variedade Smooth Cayenne foram de 26,0 t ha^{-1}, 53,5 t ha^{-1} e 53,6 t ha^{-1} e de 658 g, 1.241 g e 1.390 g, respectivamente.

Em estudos realizados na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Souza et al. (2002a), trabalhando com lâminas de água variando de 334 mm ano^{-1} a 608 mm ano^{-1}, adicionadas à precipitação efetiva de 671 mm ano^{-1}, utilizando a cultivar Pérola, determinaram que o ponto de máxima eficiência da lâmina de irrigação com relação à função de produção foi de 596 mm ano^{-1} e 54,7 t ha^{-1}.

Por sua vez, Almeida et al. (2002a), em trabalho realizado em tabuleiros costeiros com a cultivar Pérola, utilizando lâminas de irrigação crescentes, concluíram que a irrigação teve efeito significativo sobre o desenvolvimento e as produções quantitativa e qualitativa nas condições edafoclimáticas do local onde se realizou a experimentação. Já em trabalhos realizados na estação experimental de Mocambinho, da Epamig, no norte de Minas Gerais,

Souza et al. (2002b) e Almeida et al. (2002b), repondo água ao solo sempre que as plantas consumiam 20%, 40%, 60% e 80% da água disponível, concluíram que houve efeito significativo para níveis de umidade do solo com relação aos pesos verde e seco da folha “D” e com relação ao rendimento, ao peso médio do fruto e à porcentagem média dos frutos respectivamente, caracterizando para os autores que a reposição de água ao solo, quando as plantas haviam consumido 80% da água disponível, foi o melhor tratamento aplicado.

Métodos de irrigação

Não há informações sobre restrições aos métodos usuais de irrigação para a cultura do abacaxizeiro. Entretanto, a escolha criteriosa de um sistema de irrigação para uma determinada área envolve uma adequada caracterização de recursos hídricos, solos, topografia e clima, a cultura que será irrigada e o próprio elemento humano. Todos esses fatores associados determinam as condições que o sistema de irrigação deverá atender, permitindo estabelecer as alternativas que melhor se adaptam àquelas condições e, pelas análises técnica e econômica apropriadas, conduzir a uma escolha plenamente satisfatória.

Existem basicamente quatro formas de aplicação de água que caracterizam os principais métodos de irrigação: subsuperfície, superfície, localizada e aspersão.

Irrigação por superfície e subsuperfície

De modo geral, os sistemas de irrigação por subsuperfície e por superfície não são utilizados na cultura do abacaxi. O primeiro, porque, ao necessitar da elevação do nível freático até muito próximo da superfície em virtude da pouca profundidade do sistema radicular do abacaxizeiro, pode provocar encharcamento da área caso o terreno não esteja bem sistematizado, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento da planta e, consequentemente, a produção, além do risco de salinização do solo. O segundo porque, também em razão de o sistema radicular do abacaxizeiro estar 70% localizado a 20 cm de profundidade do solo e a cultura exigir solos bem drenados, a utilização dos sistemas superficiais (sulcos, faixas, bacias em nível e tabuleiro) acarreta uma perda excessiva de água, além da possibilidade de saturação do solo, causando danos à cultura.

Irrigação localizada

Dos sistemas de irrigação localizados, o gotejamento é o mais utilizado na cultura do abacaxi, principalmente onde a disponibilidade de água é limitada, os custos de mão de obra são altos e as técnicas culturais são avançadas. É utilizado comumente no Havaí, associado ao uso de filme de polietileno para cobertura do solo nas linhas de plantio (Figura 7).



Figura 7. Irrigação por gotejamento de abacaxi, cv. Smooth Cayenne, utilizando-se cobertura do solo com filme de polietileno, no Havaí.

Foto: Aristóteles Pires de Matos

Segundo Combres (1983), essa técnica tem muitos inconvenientes na cultura do abacaxi:

1. Necessidade de água limpa de impurezas, a qual deve ser submetida, geralmente, a filtrações sucessivas, demandando ainda uma rigorosa manutenção e a limpeza frequente do equipamento.
2. Custo excessivamente elevado em razão da alta densidade de plantio da cultura do abacaxi. Para um hectare de abacaxi plantado em fileira dupla com espaçamento de 0,90 m x 0,40 m x 0,30 m, seriam necessárias 77 linhas de gotejadores espaçados de 0,30 m, totalizando 7.700 m ha^{-1}.
3. A difusão da água no solo dificultaria a utilização do sistema na cultura do abacaxi sem o uso da cobertura do solo com o filme de polietileno.

No sistema de irrigação por gotejamento (Figura 8), a absorção da água pela planta ocorre apenas pelas raízes, necessitando, portanto, que o seu sistema radicular esteja bem desenvolvido e livre de pragas e doenças para que ocorra a eficiência desejada. As

mudas convencionais de abacaxi são normalmente plantadas antes do enraizamento (Figura 9), dependendo fundamentalmente da água para a emissão de raízes. A aplicação localizada da água nos dois primeiros meses após o plantio, mesmo que seja no pé da planta, pode dificultar o seu aproveitamento pela planta nova, prejudicando o pleno enraizamento.

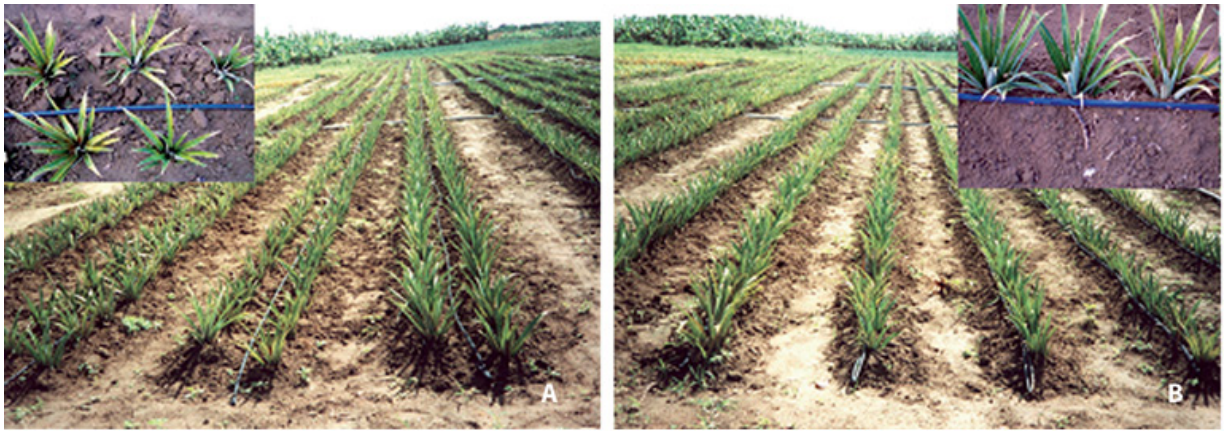


Figura 8. Irrigação por gotejamento em fileiras duplas (A) e em fileiras simples (B)

Fotos: Otávio Alvares de Almeida

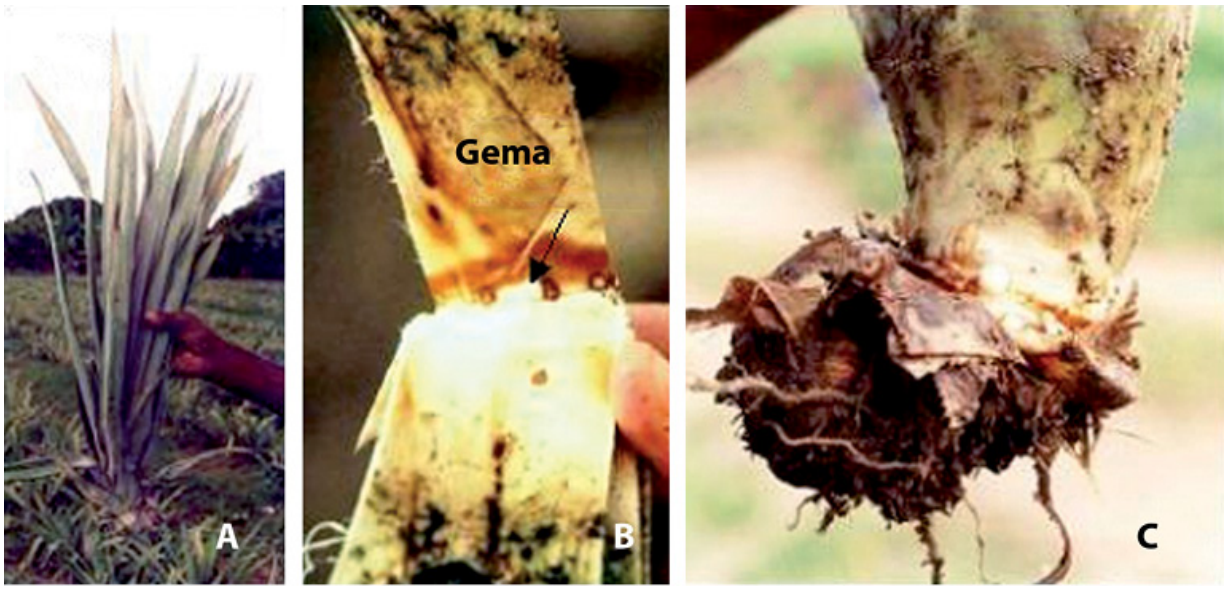


Figura 9. Sistema radicular de uma muda de abacaxizeiro (A), vista de uma gema (B) e vista de uma gema e início do enraizamento (C).

Fotos: Otávio Alvares de Almeida

O sistema de irrigação por microaspersão (Figura 10) tem como inconveniente a necessidade de elevação frequente e continuada das hastes-suporte dos microaspersores a fim de atingir uma área maior de aspersão de água, à medida que as plantas crescem, além de precisar de filtragem da água, como no gotejamento. Esse sistema de irrigação vem sendo utilizado quando o abacaxizeiro é plantado como cultura secundária nas entrelinhas de pomares de manga, acerola, coco, etc., num processo de introdução da cultura no Semiárido nordestino.



Figura 10. Irrigação por microaspersão em abacaxizal, Cruz das Almas, BA.

Fotos: Otávio Alvares de Almeida

Irrigação por aspersão

Trata-se de um sistema de irrigação que permite um perfeito controle da lâmina de água aplicada e um ajuste bastante satisfatório às condições de solo-clima-planta envolvidas no processo, possibilitando uma adaptação excelente em quase todas as situações existentes na agricultura irrigada (BERNARDO, 1989; DAKER, 1984; OLITTA, 1984).

A irrigação por aspersão adapta-se melhor ao abacaxizeiro por causa do formato e da distribuição de suas folhas, o que possibilita uma melhor captação de água, aumentando a absorção por meio das raízes adventícias superiores.

Os sistemas de irrigação por aspersão mais representativos são: aspersão convencional (Figura 11); linhas laterais autopropelidas com deslocamento linear (lateral rolante) ou radial (pivô central) (Figura 12); aspersores autopropelidos (com ou sem cabos de tração) (Figura 13); e montagem direta.



Figura 11. Abacaxizal com irrigação por aspersão convencional.

Foto: Otávio Alvares de Almeida



Figura 12. Abacaxizal, cv. Pérola, com irrigação por pivô central, Barreiras, BA.

Foto: Otávio Alvares de Almeida



Figura 13. Abacaxizal, cv. Pérola, com irrigação por aspersor autopropelido.

Fotos: Otávio Alvares de Almeida

Não há restrições à utilização de nenhum dos sistemas de irrigação supracitados desde que sejam dimensionados corretamente, evitando-se que, por meio dos respingos, as partículas do solo atinjam a roseta foliar (olho da planta) (Figura 14a), o que poderá resultar na inibição do desenvolvimento da muda ou no surgimento de um novo rebento (Figura 14b) e até na morte da planta e consequente falha nas linhas de plantas (Figura 14c).

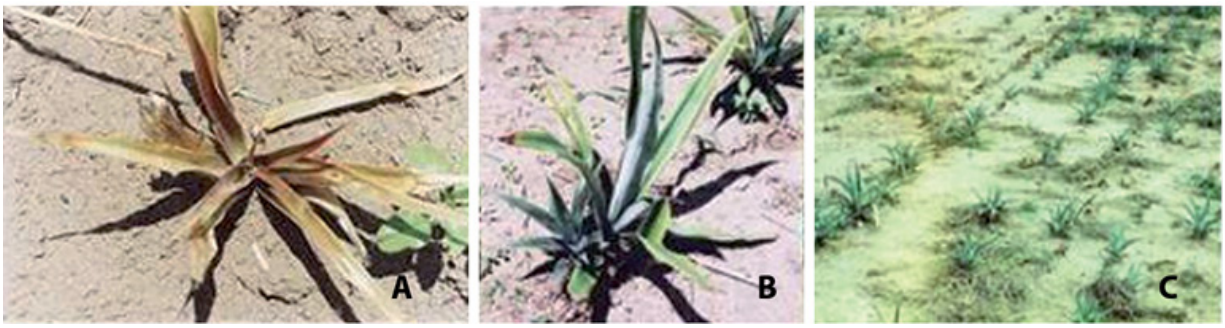


Figura 14. Respingo de terra na roseta foliar (olho da planta) (A); surgimento de nova muda (B); e redução do número de plantas (C).

Fotos: Otávio Alvares de Almeida

Outro fator importante e que deve ser considerado quando se utilizarem os sistemas de irrigação por aspersão é a velocidade de infiltração de água no solo. Ela determina o tempo em que se deve manter a água na superfície do solo ou a duração da aspersão, de modo que se aplique uma quantidade desejada de água sem provocar escoamento superficial e, consequentemente, a perda do solo agricultável e o excesso de água no solo. O conhecimento da velocidade de infiltração básica (VIB) em um tipo de solo proporciona a definição da escolha dos aspersores ou emissores, cuja intensidade de aplicação de água (IA) seja menor ou igual à VIB.

Monitoramento da irrigação

Cálculo da lâmina de irrigação

O excesso de água prejudica bastante o abacaxizeiro, principalmente por asfixiar as raízes das plantas e por favorecer o ataque de pragas e doenças (GREEN, 1963; PINON, 1978). Segundo Neild e Boshell (1976), dificilmente haverá expectativa de colheita se o abacaxizeiro for plantado em solos de textura argilosa, com problemas de drenagem, onde a precipitação média anual exceder 3.000 mm. Já o deficit hídrico afeta o desenvolvimento do sistema radicular, o crescimento da planta, a qualidade do fruto e o rendimento da cultura, como descrito anteriormente.

Como foi visto, tanto a falta como o excesso de água prejudicam o bom desenvolvimento da cultura do abacaxi. Por isso, para um bom manejo da irrigação e uma boa condução do abacaxizeiro, devem ser determinadas e/ou conhecidas as características físico-hídricas do solo, como a capacidade de campo (CC), o ponto de murcha (PM), a densidade do solo (Ds), a profundidade efetiva do sistema radicular (Pr) e a eficiência do sistema de irrigação, os quais permitem o cálculo da capacidade de armazenamento de água no solo.

É importante que a primeira irrigação alcance a profundidade efetiva do sistema radicular, visto que, no período de desenvolvimento das plantas, as lâminas de irrigação utilizadas são para repor a água que foi evapotranspirada pela cultura, não havendo nenhum acréscimo para compensar o não atingimento da profundidade efetiva das raízes pela irrigação no momento em que foi implantada.

Em consequência disso, muitas culturas desenvolvem-se com o sistema radicular muito superficial, dificultando as práticas culturais, principalmente a capina, e até ocorrendo o tombamento de plantas.

Manejo da irrigação pelo método do turno de rega calculado

Quando não se dispõe de dados e/ou equipamentos que permitam a utilização de um método mais eficiente, define-se o turno de rega (TR) utilizando o fator de disponibilidade de água no solo (f), que varia de 0,2 a 0,8 a depender da cultura, sendo os valores menores usados para as culturas mais sensíveis ao deficit de água no solo e os maiores para as culturas mais resistentes. O turno de rega é determinado pela relação expressa na equação 1.

$$TR = \frac{Lm}{ETc} \quad (1)$$

em que TR é o turno de rega (dia) e ETc a evapotranspiração da cultura (mm dia $^{-1}$).

Como o turno de rega é calculado a partir de dados históricos da evapotranspiração média mensal, que por sua vez também é distribuída ao longo do mês em questão, existe a possibilidade de as lâminas de irrigação serem deficientes ou excessivas ao longo do tempo. Assim, a lâmina de água necessária para cada irrigação pode ser calculada utilizando a equação 2 e considerando a ETc como a efetivamente ocorrida no intervalo de tempo entre as duas irrigações.

$$Lmi = TR \times ETci \quad (2)$$

em que Lmi é a lâmina de manutenção no intervalo entre duas irrigações (mm) e $ETci$ a evapotranspiração do cultivo entre duas irrigações (mm).

Manejo da irrigação com base na evaporação do tanque “Classe A”

Tendo o produtor um tanque “Classe A” instalado na fazenda ou mesmo uma estação agroclimatológica nas cercanias, onde possa obter os dados diários da evaporação, e estando de posse dos valores de coeficientes do tanque (Kp) e do coeficiente da cultura (Kc), pode estimar a quantidade de água de irrigação utilizando a equação 3.

$$ETc = Kp \times Ev \times Kc \quad (3)$$

em que Kp é o coeficiente do tanque “Classe A”, Ev a evaporação do tanque “Classe A” (mm) e Kc o coeficiente da cultura (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficiente de cultivo (*Kc*) em razão do estádio de desenvolvimento da cultura.

Estádio de desenvolvimento	Caracterização do estádio	Kc
Inicial	Da germinação até a cultura cobrir 10% da superfície do terreno	0,4 a 0,6
Secundário ou de desenvolvimento vegetativo	Do final do primeiro estádio até a cultura cobrir 70% ou 80% da superfície do terreno ou atingir 70% a 80% do seu desenvolvimento vegetativo	Varia linearmente entre os valores no primeiro e terceiro estádios
Intermediário ou de produção	Do final do segundo estádio até o início da maturação (estádio de produção)	1,0 a 1,2
Final ou de maturação	Do início da maturação até a colheita ou final da maturação	Varia linearmente entre o terceiro estádio e 0,4 a 0,6

Fonte: Bernardo (1989).

Adotando-se a frequência de irrigação ou turno de rega fixo ou móvel, a lâmina de reposição é definida pelo somatório da evapotranspiração potencial da cultura no decorrer do intervalo entre duas irrigações. Consequentemente, a irrigação deve ser efetuada com a lâmina determinada pelas equações 4 e 5.

$$\sum_{i=1}^{n} ETc_i \geq Lm_2 \quad \text{(irrigação total)} \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{n} (ETC_i - Pe_i) \geq Lm_2 \quad \text{(irrigação suplementar)} \tag{5}$$

Manejo da irrigação com uso de tensiômetro

O manejo da irrigação por meio desse método é relativamente simples desde que se disponha da curva de retenção de água do solo. O controle da umidade do solo é feito por tensiômetro com

tensímetro digital ou de punção ou vacuômetro, e as irrigações são efetuadas a todo o momento em que a tensão de água no solo atingir um valor mínimo que não prejudique o desempenho da cultura (tensão crítica).

Mesmo tendo o limite de operação entre 0 kPa e 70 kPa, o tensiômetro é um instrumento bastante útil para o controle da irrigação, visto que esses valores correspondem à faixa ótima para o desenvolvimento da maioria das culturas (entre elas o abacaxizeiro), cobrindo de 25% a 75% da água disponível no solo, dependendo da sua textura e estrutura.

Tomando-se como plano de referência o que passa pelo centro da cápsula porosa, para um tensiômetro com manômetro de mercúrio, o potencial matricial será obtido utilizando a equação 6.

$$\Psi m = \frac{\text{-}12{,}6h + h_1 + h_2}{10{,}2} \qquad (6)$$

em que Ψm é o potencial matricial (kPa), h a leitura da altura do mercúrio (cm), h_1 a altura do nível de mercúrio na cuba em relação à superfície do solo (cm) e h_2 a profundidade do centro da cápsula porosa em relação à superfície do solo (cm).

Já no tensiômetro com vacuômetro, o potencial hídrico é lido diretamente no manômetro e, para se obter o potencial matricial, subtrai-se do valor lido o potencial gravimétrico (Ψg).

Na Figura 16, o Ψg = h_1 + h_2, que é igual ao comprimento do tensiômetro l, e o potencial matricial do solo são obtidos com a seguinte equação:

(7)

$$\Psi m = Lma - \Psi g = Lma - \frac{l}{10}$$

em que Ψm é o potencial matricial do solo (kPa), Lma a leitura do manômetro (kPa), Ψg o potencial gravimétrico (kPa) e l o comprimento do tensiômetro (cm).

Os valores de tensão podem ser dados também em centímetro de mercúrio, centímetro de H_2O, bar e Pascal (Pa) de acordo com a seguinte conversão.

1 atm = 76 cm de Hg = 1.033 cm de H_2O =1,013 bar = 101,3 kPa

Quando se alcança o equilíbrio do tensiômetro com o terreno, o potencial hídrico (Ψ) será igual no ponto de leitura e na camada do solo em que foi posicionado o instrumento. Nesse momento, a leitura registrada no tensiômetro indica a força com que a água está retida nas partículas do solo, a qual será maior ou menor com a redução ou aumento da umidade, ou seja, a leitura do tensiômetro indica o estado de umidade do solo.

As leituras do tensiômetro podem ser assim descritas:

a. Leitura zero (0 kPa) indica que o solo está saturado e que as plantas podem até paralisar suas atividades fisiológicas em razão da falta de oxigênio no solo.
b. De 0 kPa a 10 kPa indica que ainda há um excedente de água.
c. De 10 kPa a 20 kPa indica umidade e também ar no solo, necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Para a grande maioria dos solos, essa faixa de umidade representa a “capacidade de campo”, não requerendo irrigação nos solos argilosos nem nos de textura média. Já nos solos arenosos, as plantas podem começar a ter dificuldades de absorver água a partir de 15 kPa.
d. De 20 kPa a 40 kPa indica água disponível e grande aeração para as plantas. Ainda não é necessário irrigar os solos argilosos e de textura média. Entretanto, na faixa de 20 kPa a 30 kPa, deve-se iniciar a irrigação dos solos de textura grossa; os de textura fina, na faixa de 30 kPa a 40 kPa.
e. De 40 kPa a 60 kPa indica que o solo ainda tem umidade e grande aeração para as plantas em solos argilosos, de textura fina. Nos solos de textura média, deve ser iniciada a irrigação.

f. De 60 kPa a 80 kPa indica que há pouca umidade para todos os tipos de solos, excetuando-se os argilosos bastante pesados.

Fertirrigação

A fertirrigação consiste no processo de suprimento de nutrientes às plantas via água de irrigação. Constitui-se, portanto, numa alternativa que só se aplica aos cultivos conduzidos sob aplicação artificial de água. Apresenta vantagens e desvantagens em comparação ao fornecimento dos nutrientes pela via sólida ou mesmo pela via líquida mediante outras formas de aplicação, conforme descrito por Coelho et al. (2002).

Características da planta

Diferentemente de muitas outras espécies epífitas da família *Bromeliaceae*, o abacaxizeiro, por ser de hábito terrestre, retira diretamente do solo, por meio do seu sistema radicular subterrâneo, a maioria dos nutrientes de que necessita para o crescimento e produção. Contudo, o suprimento das suas necessidades nutricionais pode ser feito de modo eficiente pela via foliar, inclusive com a participação do sistema radicular axilar (raízes localizadas nas axilas das folhas). Portanto, a fertirrigação pode ser usada com sucesso na cultura do abacaxi, seja conduzida sob irrigação por aspersão, seja conduzida sob irrigação localizada de alta frequência.

Quanto aos aspectos nutricionais, o abacaxizeiro normalmente demanda quantidades de nutrientes que a maioria dos solos cultivados não conseguem suprir integralmente (exceção para alguns solos virgens, recém-desmatados ou em pousio prolongado). Esse nível elevado de exigências conduz à quase obrigatoriedade da prática da adubação, sobretudo nos plantios com fins comerciais.

A extração/acumulação de macronutrientes pelo abacaxizeiro ocorre na seguinte ordem decrescente: K>N>Ca>Mg>S>P. Em relação ao nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), trabalhos realizados por vários autores permitem estimar as quantidades médias extraídas pelo abacaxizeiro em 178 kg de N, 21 kg de P (48 kg de P_2O_5) e 445 kg de K (536 kg de K_2O) por hectare, que resultam numa relação média de extração de 1,0:0,12:2,5 para N:P:K ou de 1,0:0,27:3,0 para N:P_2O_5:K_2O. Quanto aos micronutrientes, a ordem decrescente de acumulação é: Mn>Fe>Zn>B>Cu (SOUZA; ALMEIDA, 2002).

Recomendação de adubação para o abacaxizeiro

A definição inicial das doses de nutrientes a serem usadas na cultura do abacaxizeiro deve ser baseada nos resultados analíticos do solo da área de plantio. É também possível, a partir de pelo menos 4 meses após o estabelecimento da cultura, a utilização simultânea de resultados de análises foliares das plantas para subsidiar decisões sobre a adubação.

Na Tabela 2, Souza et al. (2001) apresentam recomendações para a adubação do abacaxizeiro irrigado com base em resultados analíticos do solo. O parcelamento da adubação em quatro vezes é

indicativo da aplicação dos adubos pela via sólida. As adubações pela via líquida são normalmente fracionadas num número maior de vezes, conforme será visto posteriormente.

Tabela 2. Recomendações de adubação para o abacaxizeiro irrigado nas regiões semiáridas, com base em resultados analíticos de solo.

Nutriente[1]	Em cobertura – Após o plantio			
	1º ao 2º mês	4º ao 5º mês	6º ao 7º mês	8º ao 9º mês
	N (kg ha^{-1})			
Nitrogênio	60	80	90	90
	P_2O_5 (kg ha^{-1})			
Fósforo no solo (Mehlich)				
mg P dm^{-3}				
Até 5	120	-	-	-
6 a 10	80	-	-	-
11 a 15	60	-	-	-
	K_2O (kg ha^{-1})			
Potássio no solo (Mehlich)				
mg K dm^{-3}				
Até 30	90	120	135	135
31 a 60	75	100	110	115
61 a 90	60	80	90	90
91 a 120	45	60	65	70

[1] As doses recomendadas nesta tabela pressupõem densidades de plantio em torno de 40 mil plantas ha^{-1} (variedades Pérola e Jupi). Para densidades em torno de 50 mil plantas ha^{-1}, recomendadas para a variedade Smooth Cayenne, as doses devem ser acrescidas em 25%.
Fonte: Souza et al. (2001).

A relação K_2O/N na adubação é importante, inclusive pela sua influência na qualidade do fruto. Nos solos com baixos teores de K, é recomendável que essa relação seja sempre superior a 1,0 (de preferência entre 1,5 e 2,5).

Marcha de absorção de nutrientes pelo abacaxizeiro

Normalmente, verifica-se uma baixa absorção/acumulação dos nutrientes pelo abacaxizeiro nos cinco primeiros meses após o plantio. Entre o sexto e o nono mês, ocorre um aumento significativo da taxa de absorção, que se mantém crescente até o florescimento. Portanto, é vital que no período compreendido entre o quinto mês pós-plantio e a indução artificial da floração, nas explorações comerciais, a planta seja adequadamente suprida de nutrientes de modo a acumular reservas que serão importantes na fase de desenvolvimento e crescimento dos frutos.

Aplicações de nutrientes na fase reprodutiva do ciclo da planta (após o desencadeamento do processo de florescimento) não são normalmente recomendadas. Contudo, existem situações especiais, como no caso de plantas induzidas em más condições nutricionais, em que a aplicação de nutrientes pode resultar em efeitos positivos para o peso e/ou qualidade do fruto. Nessas circunstâncias, é recomendável que a aplicação de fertilizantes seja feita pela via líquida até no máximo 60 dias após a indução floral.

Nutrientes para fertirrigação do abacaxizeiro

Quando se pretende utilizar a via líquida para aplicação de nutrientes, como no caso da fertirrigação, deve-se ter o cuidado de avaliar, além da solubilidade do produto, as questões relacionadas a incompatibilidades com outros produtos e outros aspectos inerentes às suas características e qualidade, a fim de evitar possíveis problemas, como elevada corrosão de equipamentos, aumento da

condutividade elétrica a valores superiores à salinidade crítica do cultivo e entupimento de tubulações e emissores.

O nitrogênio é o nutriente mais aplicado via água de irrigação na abacaxicultura. A ureia (45% N) é a alternativa mais frequente para o suprimento do N por esse caminho. Outras alternativas seriam o sulfato de amônio (20% N), o nitrato de potássio (13% N) e o nitrato de amônio (33% N), devendo-se sempre atentar para a economicidade proporcionada por cada uma delas.

Não é usual na abacaxicultura a aplicação do fósforo via água de irrigação. Normalmente, a adubação fosfatada é feita de uma só vez e na forma sólida, antes do plantio, nas respectivas covas ou sulcos. Em algumas regiões produtoras, utiliza-se a aplicação em cobertura, também na forma sólida e de uma única vez, decorridos 30 a 60 dias do plantio. Como fontes de fósforo têm sido mais utilizados o superfosfato triplo (42% P_2O_5), o superfosfato simples (18% P_2O_5), o fosfato monoamônico (MAP – 48% P_2O_5) ou o fosfato diamônico (DAP – 45% P_2O_5). Os termofosfatos magnesianos (17% P_2O_5) têm sido também utilizados como fonte de fósforo na abacaxicultura. Há, contudo, a opção pela aplicação do fósforo via água de irrigação, as fontes mais recomendadas são o DAP (45% P_2O_5), o MAP (48% P_2O_5) e o próprio ácido fosfórico (40% ou 52% P_2O_5).

É muito frequente na abacaxicultura, principalmente nos sistemas produtivos de médios e grandes produtores, a aplicação do potássio pela via líquida, normalmente associado ao nitrogênio. As fontes mais utilizadas para tal suprimento são o cloreto de potássio (58% K_2O) e o sulfato de potássio (50% K_2O). O nitrato de potássio (44% K_2O) também constitui-se em excelente fonte para o suprimento de potássio via fertirrigação.

Havendo necessidade de suprimento de cálcio e/ou magnésio pela via líquida, pode-se recorrer ao nitrato de cálcio (17% a 19% Ca) e/ou ao sulfato de magnésio (16% a 20% Mg), conforme o caso. De modo alternativo, podem ser usados quelatos dos respectivos nutrientes. O suprimento de enxofre é feito normalmente por intermédio de fertilizantes que são ao mesmo tempo fontes de alguns dos macronutrientes principais, como o sulfato de amônio (23% a 24% S) e o sulfato de potássio (17% a 18% S). É importante, na seleção dos fertilizantes a serem utilizados, que fique assegurado o suprimento do S sobretudo nos solos intensamente cultivados e pobres em matéria orgânica.

Em relação ao ferro, zinco, cobre e boro, micronutrientes evidenciados como mais importantes para a abacaxicultura, o suprimento pela via líquida pode ser feito mediante a utilização dos sais correspondentes (sulfato ferroso $7H_2O$, com 20% Fe; sulfato de zinco $7H_2O$, com 22% Zn; sulfato de cobre $5H_2O$, com 24% Cu, ou oxicloreto de cobre, com 35% a 50% Cu; bórax $10H_2O$, com 11,3% B) ou dos adubos foliares comerciais que contenham esses micronutrientes ou, ainda, recorrendo-se aos quelatos, no caso dos micronutrientes metálicos.

Esquemas de adubação com fertirrigação

Para o suprimento do nitrogênio e potássio para a cultura do abacaxi pela via líquida, podem ser seguidas duas alternativas (aplicação de doses crescentes de N e K em intervalos de tempo equidistantes ou aplicação de doses iguais de N e K em intervalos de tempo decrescentes), conforme Souza e Almeida (2002). Tais alternativas estão exercitadas nas Tabelas 3 e 4, admitindo-se para

tanto um plantio na densidade de 40 mil plantas ha^{-1}, com previsão de indução do florescimento no décimo mês após a instalação, e para o qual tenha sido feita uma recomendação de adubação de 320 kg de N e 480 kg de K_2O ha^{-1} ciclo. Em ambas as alternativas, as doses totais dos nutrientes foram parceladas em 16 aplicações.

Tabela 3. Doses de nitrogênio (N) e potássio (K_2O) a serem aplicadas via fertirrigação na cultura do abacaxi, na fase vegetativa do ciclo da planta (doses crescentes à razão de ± 10% e intervalos de tempo de 15 dias entre cada aplicação).

Dias (pós-plantio)	Kg ha^{-1}		Dias (pós-plantio)	Kg ha^{-1}	
	N	K_2O		N	K_2O
45	8,9	13,4	165	19,1	28,6
60	9,8	14,7	180	21,0	31,5
75	10,8	16,2	195	23,1	34,7
90	11,9	17,8	210	25,4	38,1
105	13,0	19,5	225	27,9	41,9
120	14,3	21,4	240	30,7	46,0
135	15,8	23,7	255	33,8	50,7
150	17,3	26,0	270	37,2	55,8

Fonte: Souza e Almeida (2002).

Tabela 4. Parcelamento de nitrogênio (N) e potássio (K_2O), via fertirrigação, na cultura do abacaxi (doses fixas de 20 kg N ha^{-1} e 30 kg K_2O ha^{-1}, aplicadas em intervalos de tempo decrescentes).

Aplicação	Dias (pós-plantio)	Intervalo (dias)	Aplicação	Dias (pós-plantio)	Intervalo (dias)
1ª	45		9ª	210	
		30			14
2ª	75		10ª	224	
		30			14
3ª	105		11ª	238	
		21			7
4ª	126		12ª	245	

		21			7
5ª	147		13ª	252	
		21			7
6ª	168		14ª	259	
		14			7
7ª	182		15ª	266	
		14			7
8ª	196		16ª	273	

Fonte: Souza e Almeida (2002).

A escolha da alternativa a ser utilizada depende das características do sistema de produção adotado em cada propriedade, podendo até mesmo receber ajustes para melhor adequação a cada situação específica. O fato de aplicar doses fixas e, portanto, estar menos sujeito a erros de dosagens, confere mais praticidade à segunda alternativa, que tem sido sempre mais aceita.

Deve-se ressaltar também que existe a possibilidade de se aplicarem parte do nitrogênio e potássio pela via sólida e parte mediante a fertirrigação. Tal procedimento é mais indicado quando se pratica a irrigação por aspersão em quaisquer das suas modalidades. Nessas circunstâncias, as aplicações sólidas nas primeiras fases do ciclo vegetativo, possibilitarão maior aproveitamento dos nutrientes pela planta, reservando-se as adubações via água de irrigação para as fases posteriores (a partir do sexto mês do plantio), quando uma maior expansão do sistema radicular e da cobertura foliar da planta permitirá melhor aproveitamento dos nutrientes.

Cabe destacar que a via líquida é também indicada para aplicações suplementares de cálcio, magnésio e micronutrientes, quando

recomendadas.

Como se pode observar, as alternativas propostas não contemplam a adubação fosfatada, que deve ser efetivada de uma só vez, na forma sólida, nas covas ou sulcos, por ocasião do plantio, ou, se conveniente para o produtor, em cobertura, também na forma sólida, decorridos 30 a 60 dias do plantio.

Referências

ALMEIDA, O. A. de. **Irrigação na cultura do abacaxi**: aspectos técnicos e econômicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2001. 35 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular técnica, 41).

ALMEIDA, O. A. de; OLIVEIRA, L. A. de; SOUTO, R. F.; SOUZA, L. F. da S.; CALDAS, R. C.; MENEGUCCI, J. L. P. Efeito da irrigação sobre a produção e a qualidade do abacaxi no semi-árido de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Brasília, DF: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2003. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, O. A. de; REINHARDT, D. H. R. C. Irrigação. In: CUNHA, G. A. P. da; CABRAL, J. R. S.; SOUZA, L. F. da S. (Org.). O **abacaxizeiro**: cultivo, agroindústria e economia. Brasília, DF: Embrapa

Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p. 203-227.

ALMEIDA, O. A. de; SOUZA, L. F. da S.; CALDAS, R. C.; REINHARDT, D. H. Efeito da irrigação sobre a produção e qualidade do abacaxi “Pérola” em área de Tabuleiros Costeiros do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. **Anais**... Belém: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2002a. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, O. A. de; SOUZA, L. F. da S.; REINHARDT, D. H.; CALDAS, R. C. Influência da irrigação no ciclo do abacaxizeiro cv. Pérola em área de Tabuleiro Costeiro da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 431-435, 2002b.

ALMEIDA, O. A. de; SOUZA, L. F. da S.; SOUTO, R. F.; CALDAS, R. C. Niveles de humedad del suelo y de fertilizante en piña en semiárido de Brasil. In CONGRESO NACIONAL DE RIEGOS, 17., 1999, Murcia. **Actas**... Murcia: AERYD, 1999. p. 27-34.

ASOEGWU, S. N. Effect of irrigation and nitrogen on the growth and yield of pineapple. **Fruits**, Paris, FR, v. 42, n. 9, p. 505-509, 1987.

ASOEGWU, S. N. Nitrogen and potassium requirement of pineapple in relation to irrigation in Nigeria. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 15, n. 3, p. 203-210, 1988.

BARTHOLOMEW, D. P.; KADZIMIN, S. B. Pineapple. In: ALVIM, P. de T; KOZLOWSKI, T. T. (Ed.).

Ecophysiology of tropical crops. New York: Academic, 1977. p. 113-156.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989. 596 p.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. S. de; BORGES, A. L. Aspectos básicos da fertirrigação. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 9-14.

COMBRES, J. C. **Bilan énergétique et hidrique de l'ananas, utilisation optimale des potentialetés climatique**: compte-rendu d'atividés. Auquédedou: IRFA, 1983. 108 p.

CUNHA, G. A. P. da; ROCHA, S. L. **Comportamento de cultivares de abacaxi sob irrigação no Norte de Minas Gerais**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF,1993. 2 p. (Embrapa-CNPMF. Abacaxi em Foco, 95).

DAKER, A. **Irrigação e drenagem**: a água na agricultura. 6. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984. v. 3, 543 p.

DU PLESSIS, S. F. Irrigation of pineapples. In: PINEAPPLES. Pretoria, ZA: Department of Agriculture and Water Supply, 1989. 1 p.

EKERN, P. C. Evapotranspiration of pineapple in Hawaii. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 40, n. 4, p. 736-739, 1965.

GREEN, G. C. The pineapple plant. In: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (Geneva).

The effect of weather and climate upon the keeping quality of fruit. Geneva: WMO, 1963. p. 136-180. (Technical Note, 53).

INSTITUT DE RECHERCHES SUR LES FRUITS ET AGRUMES. **La culture de l'ananas d'exportation en Cote d'Ivoire**: manuel du planteur. Abidjan: Les Nouveles Editions Africaines, 1984. 112 p.

MAAS, E. V. Crop tolerance. **California Agriculture**, Oakland, v. 38, n. 10, p. 20-24, 1984.

MARINHO, F. J. L.; FERNENDES, P. D.; GHEYI, H. R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. Smooth Cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 1-5, 1998.

MEDCALF, J. C. Respostas do abacaxizeiro quando irrigado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ABACAXICULTURA, 1., 1982, Jaboticabal. **Anais**... Jaboticabal: FCAV, 1982. p. 91-98.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. **A qualidade da água de irrigação**. Mossoró: ENA: Esam, 1994. 60 p. (Boletim Técnico-científico, 22).

NEILD, R. E.; BOSHELL, F. An agroclimatic procedure and survey of the pineapple production potential of Colombia. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, NL, v. 17, n. 2, p. 81-92, 1976.

OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1984. 267 p.

PINON, A. **L'ananas de conserverie et sa culture**. Côte D'Ivoire: Irfa, 1978. 82 p.

PY, C.; LACOEUILE, J. J.; TEISSON, C. **L'ananas, sa culture, ses produits**. Paris, FR: Maisonneuve et Larose et ACCT, 1984. 562 p.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. Washington, DC: Salinity Laboratory-Usda, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

SIDERIS, C. P. Effects of sea water spray on pineapple plants. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 45, p. 590-594, 1955.

SIDERIS, C. P.; KRAUSS, B. H. Water relation of pineapple plants. **Soil Sciences**, Baltimore, v. 26, p. 305-315, 1928.

SIDERIS, C. P.; YOUNG, H. Y. Effects of chlorides on the metabolism of pineapple plants. **American Journal of Botany**, Bronx, v. 41, p. 847-854, 1954.

SOUTO, R. F.; ALMEIDA, O. A. de; SOUZA, L. F. da S.; CALDAS, R. C.; FARIA, F. H. de S. Níveis de umidade do solo e de adubação para o abacaxizeiro "Pérola" no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 20, n. 3, p. 332-342, 1998.

SOUZA, L. F. da S.; ALMEIDA, O. A. de. Requerimento de nutrientes para fertirrigação: 1. Abacaxi. In: BORGES, A. L; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**.

Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 68-76.

SOUZA, L. F. da S.; ALMEIDA, O. A. de; ÁVILA, L. de O.; SOUTO, R. F. Effect of soil moisture content, N and K doses on growth factors and pineapple fruits quality in Semiarid Brazil. In: INTERNATIONAL PINEAPPLE SYMPOSIUM, 4., 2002, Veracruz. **Abstracts**… Veracruz: Inifap, 2002b. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. F. da S.; ALMEIDA, O. A. de; CALDAS, R. C.; REINHARDT, D. H. Effect of soil moisture and fertilization on Pérola pineapple in Coastal Tableland areas of Brazil. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 79, n.°2,p. 83-87, 2002a.

SOUZA, L. F. da S.; SOUTO, R. F.; MENEGUCCI, J. L. P. Adubação. In: REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. (Org.). **Abacaxi irrigado em condições semi-áridas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2001. p. 54-59.

TAY, T. H. Effect of water on growth and nutrient uptake of pineapple. **MARDI Research Bulletin**, Kuala Lumpur, v. 2, n. 2, p. 31-49, 1974.

WAMBIJI, H.; EL-SWAIFY, S. A. **Effects of soil salinity status on pineapple**: I. Growth parameters. Mãnoa: University of Hawaii, 1974. 14 p. (Hawaii Agricultural Experiment Station Paper, 22).

WINTER, E. J**. A água, o solo e a planta**. São Paulo: USP: EPU, 1976. 169 p.

Capítulo 12

Irrigação e fertirrigação na cultura da banana

Ana Lúcia Borges
Eugênio Ferreira Coelho
Édio Luiz da Costa
Antônio Heriberto de Castro Teixeira

Introdução

A irrigação existe como alternativa para a suplementação de água durante períodos de deficit hídrico no solo e não funciona isoladamente, mas conjugada com outras práticas agrícolas, de forma a beneficiar a cultura. É indispensável nas regiões onde as chuvas não atendem às necessidades das plantas, durante todo o seu ciclo de vida ou em parte dele. Seu efeito dependerá do período de deficit hídrico da região quanto à sua extensão temporal e ao estádio de desenvolvimento da cultura. A bananeira é uma planta exigente em água, cuja produtividade tende a aumentar linearmente com a transpiração. A transpiração, por sua vez, depende da disponibilidade de água no solo, que pode ser controlada pela irrigação.

A bananeira é uma planta de crescimento rápido, que requer, para o seu desenvolvimento e produção, quantidades adequadas de nutrientes disponíveis no solo. Esses nutrientes podem ser supridos pelo próprio solo e pelos resíduos das colheitas; no entanto, para produções economicamente rentáveis, na maioria das vezes é necessário aplicar fertilizantes químicos e orgânicos.

As necessidades de nutrientes da cultivar plantada dependem do seu potencial produtivo, da densidade populacional, do estado fitossanitário e, principalmente, do balanço de nutrientes no solo e do sistema radicular que interferirá na absorção desses nutrientes.

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação proporciona o uso racional de fertilizantes em agricultura irrigada, uma vez que aumenta a eficiência de seu uso, reduz a mão de obra e o custo com máquinas, além de flexibilizar a época de aplicação, podendo as doses recomendadas ser fracionadas conforme a necessidade da planta.

Necessidades hídricas

A determinação das necessidades hídricas da bananeira é fundamental para determinar a quantidade de água a ser aplicada no solo durante a irrigação. A bananeira requer razoável quantidade de água, pois apresenta grande área foliar e peso de água correspondente a 87,5% do peso total da planta. A deficiência de água pode afetar tanto a produtividade como a qualidade dos frutos. Pode-se estimar, para dias ensolarados, de baixa umidade relativa do ar e para uma área foliar total próxima de 14 m^2, que a planta consome 26 L dia^{-1}. Em dias semicobertos, esse consumo é de 17 L dia^{-1} e, em dias completamente nublados, é de 10 L dia^{-1}. A demanda hídrica da planta depende de sua idade. Nas condições edafoclimáticas do polo Juazeiro/Petrolina, Teixeira et al. (2002) determinaram a evapotranspiração da cultura da bananeira, cv. Pacovan, em Petrolina, PE, plantada em um espaçamento de 3,0 m x 3,0 m, pelo método da razão de Bowen, numa condição de reposição de água ao solo para a capacidade de campo quando o potencial matricial atingisse valor próximo a -30 kPa, a 0,40 m de profundidade. A evapotranspiração da cultura foi de 1.210 mm entre os 120 dias após o plantio (maio de 1999) e a primeira colheita (abril de 2000), com um valor médio de 3,8 ± 1,1 mm dia^{-1}. Para o segundo ciclo (término da colheita em novembro de 2000), o consumo foi de 880 mm, com média de 4,0 ± 1,2 mm dia^{-1} (Tabela 1).

Tabela 1. Consumo médio diário da bananeira em Petrolina, PE, com base na evapotranspiração de referência (*ETo*) para os períodos considerados.

Período	Duração (dias)	ETo[(1)] (mm)	Consumo médio (mm ou L $planta^{-1}$ dia^{-1})
Do plantio ao término da 1ª colheita	434	2.227	3,9 ou 35,1
Do término da 1ª ao término da 2ª colheita	213	1.113	4,0 ou 36,0
Do término da 2ª ao término da 3ª colheita	317	1.535	3,0 ou 27,0

[(1)]Estimada pelo tanque Classe A.
Fonte: Teixeira et al. (2002).

Nas condições edafoclimáticas do norte de Minas Gerais e dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, Coelho et al. (2003) e Costa e Coelho (2003) avaliaram o consumo de água pelas bananeiras ‘Prata Anã’ e ‘Grande Naine’, com espaçamentos de 4,0 m x 2,0 m x 2,0 m (Tabuleiros Costeiros) e 3,0 m x 2,7 m (norte de Minas), cujos resultados, expressos em litros por dia por planta, estão na Tabela 2.

Tabela 2. Demanda hídrica das bananeiras ‘Prata Anã’ e ‘Grande Naine’ (L $planta^{-1}$ dia^{-1}), nas condições do norte de Minas Gerais.

Idade da planta (dias após o plantio)	Período do ano

	Out./Nov./Dez./ Jan./Fev./Mar.	Abr./Maio/Set.	Jun./Jul./Ago.
Até 60	20	15	13
61–90	22	17	15
91–120	25	19	16
121–150	30	23	20
151–180	35	27	23
181–210	42	33	28
211–240	50	39	33
241–300	55	43	36
301–330	50	39	33
331–390	40	31	26
Acima de 390	47	37	31

Fonte: Coelho et al. (2003).

Os valores do coeficiente de cultura para a bananeira, no primeiro ciclo, determinados para as condições dos Tabuleiros Costeiros da Bahia (precipitação anual total de 1.362 mm e uma evaporação do tanque Classe A de 1.787 mm) estão apresentados na Figura 1. Nessas condições, a demanda de água pela bananeira em seu primeiro ciclo variou numa faixa de 28% da evapotranspiração potencial (ETo) nos primeiros 67 dias após o plantio (DAP), elevando-se para 70% da ETo aos 243 DAP, já na formação dos frutos, e atingindo um máximo de 77% da ETo aos 309 DAP (COELHO et al., 2003).

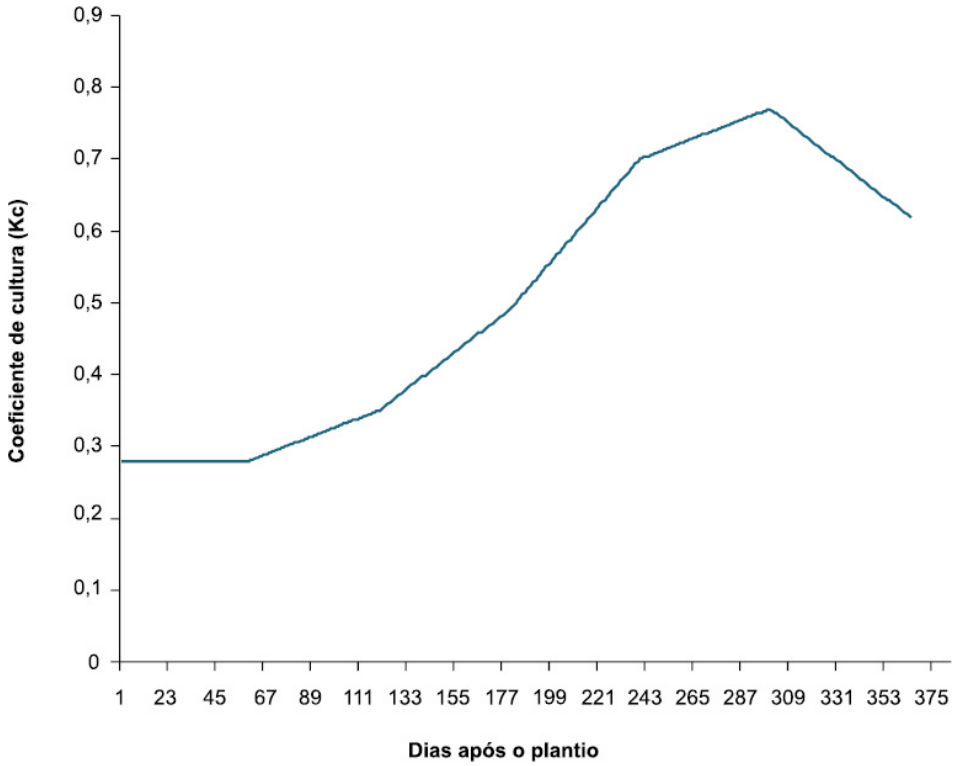


Figura 1. Coeficiente de cultura para a bananeira no primeiro ciclo, na região dos Tabuleiros Costeiros, Recôncavo Baiano.

Fonte: Coelho et al. (2003).

Para uma precipitação total anual de 1.262 mm e evaporação total anual do tanque Classe A de 2.055 mm, ocorrida em 2001 para a bananeira no terceiro ciclo, em condições dos Tabuleiros Costeiros, os coeficientes de cultura diários mais adequados à cultivar Grande Naine corresponderam a 100% dos coeficientes sugeridos por Doorenbos e Kassam (1984), enquanto os coeficientes mais adequados à cultivar Prata Anã corresponderam a 125% dos sugeridos pelos mesmos autores. Nas condições edafoclimáticas do norte de Minas Gerais, com precipitação total anual de 717 mm e evaporação do tanque Classe A de 2.438 mm, Costa e Coelho (2003) obtiveram resposta semelhante no que diz respeito ao coeficiente de cultura, isto é, os valores mais adequados corresponderam a 125% dos sugeridos por Doorenbos e Kassam (1984), conforme dados apresentados na Figura 2. Deve-se ressaltar que esses coeficientes de cultura foram obtidos pelo método inverso, ou seja, diferentes níveis de irrigação (diferentes coeficientes de cultura) foram aplicados à bananeira e, a partir dos resultados de produtividade, chegou-se aos coeficientes que maximizaram as produtividades (Figura 2).

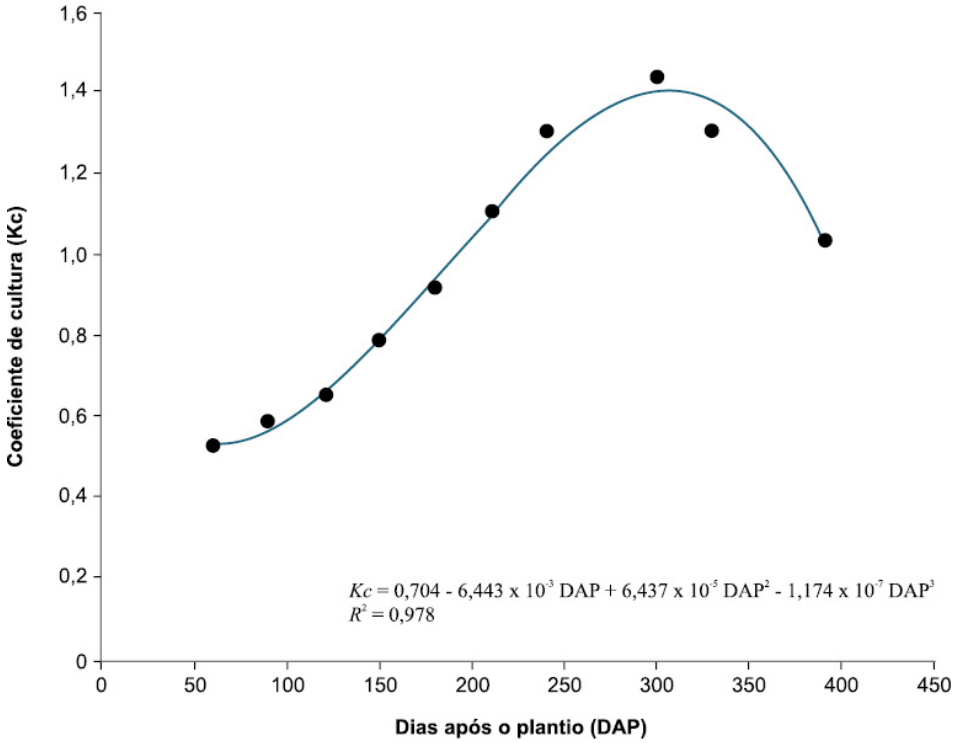


Figura 2. Coeficientes de cultura (*Kc*) para as condições do norte de Minas Gerais, em razão dos dias após o plantio (DAP).

Fonte: Costa e Coelho (2003).

Nas condições edafoclimáticas do polo Juazeiro/Petrolina, o coeficiente de cultura foi obtido determinando-se a evapotranspiração da cultura pelo método da razão de Bowen e pela evapotranspiração potencial por Penman-Monteith modificada (TEIXEIRA et al., 2002). Os valores estiveram entre 0,6 e 1,1 e entre 1,1 e 1,3 no primeiro e segundo ciclos, respectivamente (Figura 3).

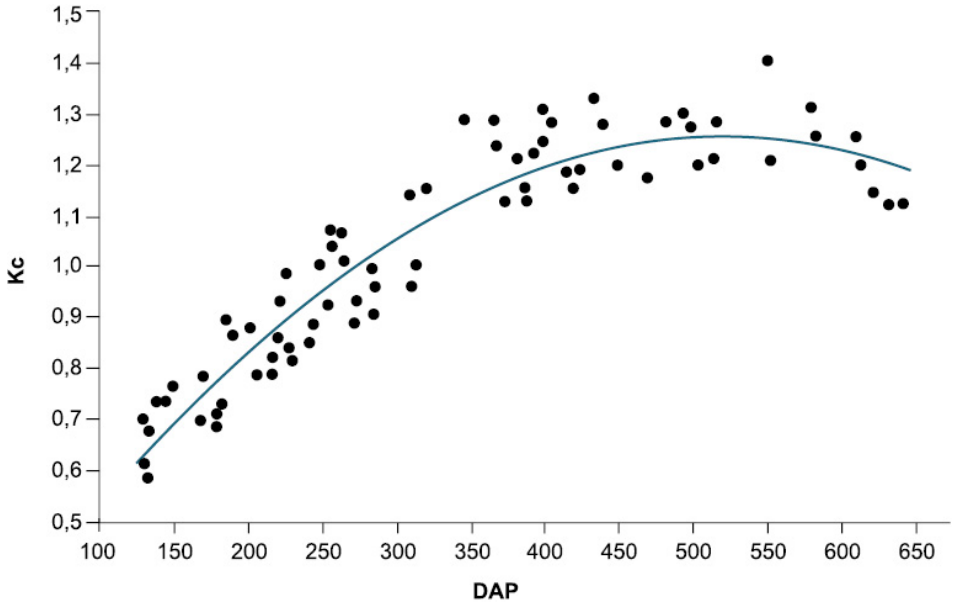


Figura 3. Coeficientes de cultura da bananeira (*Kc*) em Petrolina, PE, em razão dos dias após o plantio (DAP).

Fonte: Teixeira et al. (2002).

Os coeficientes de cultura obtidos nas condições tropicais do Brasil não diferem muito daqueles obtidos em outras condições. Bhattacharyya e Rao (1984) determinaram valores de *Kc* que variaram de 0,68 a 1,28 e um consumo anual de água de 1.560 mm, com solo sem cobertura, para a cv. Robusta. Nas Ilhas Canárias, Santana et al. (1993) obtiveram valores de *Kc* entre 0,48 e 1,68 para a bananeira, com a evapotranspiração da cultura obtida pelo balanço hídrico em lisímetros e a evapotranspiração de referência, pelo método de Penman-Monteith. Os valores anuais de evapotranspiração variaram entre 1,5 e 4,6 mm dia^{-1}, com um consumo anual de 1.127 mm. Allen et al. (1998) recomendam para climas subúmidos valores de *Kc* que variem de 0,5 a 1,1 até o final do primeiro ciclo, e de 1,0 a 1,2 a partir do segundo ciclo de cultivo da bananeira.

Resposta da bananeira à irrigação

A resposta da bananeira a diferentes níveis de irrigação depende das condições meteorológicas locais, que resultam em diferentes condições de evapotranspiração e constante térmica, associadas às características das cultivares, como rugosidade, altura da planta e área foliar, que influem diretamente na resistência aerodinâmica, além de outros fatores, tais como: espaçamento da cultura, método de irrigação e práticas culturais como cobertura do solo. Esses fatores poderão acarretar diferentes respostas da cultura à

irrigação, em conformidade com os fatores citados. No Recôncavo Baiano, na região dos Tabuleiros Costeiros, em condições de evaporação total anual do tanque Classe A de 1.787 mm e precipitação total anual de 1.362 mm, obteve-se produtividade de até 27,8 t ha^{-1} para a bananeira ‘Prata Anã’ no primeiro ciclo, aplicando-se de 267 mm de irrigação nos períodos de deficit hídrico do solo. A cultivar Grande Naine, nas mesmas condições, atingiu produtividade de 45,0 t ha^{-1} no primeiro ciclo, com aplicação da mesma lâmina de água (COELHO; BORGES, 2002). No terceiro ciclo, a produtividade variou de 28 t ha^{-1} a 32 t ha^{-1} para a cv. Prata Anã, com aplicação de 432 mm a 721 mm de irrigação (Figura 4); a produtividade da cv. Grande Naine foi de 46,5 t ha^{-1}, aplicando-se 487 mm de irrigação. Nas condições do norte de Minas Gerais, as produtividades da ‘Prata Anã’ no terceiro ciclo variaram de 31 t ha^{-1} a 34 t ha^{-1}, com aplicação de 650 mm ano^{-1} a 986 mm ano^{-1} de irrigação, respectivamente (COSTA; COELHO, 2003). A cv. Grande Naine, nas mesmas condições, resultou em produtividades de 57 t ha^{-1} a 62 t ha^{-1}, com as mesmas lâminas de irrigação aplicadas (Figura 5).

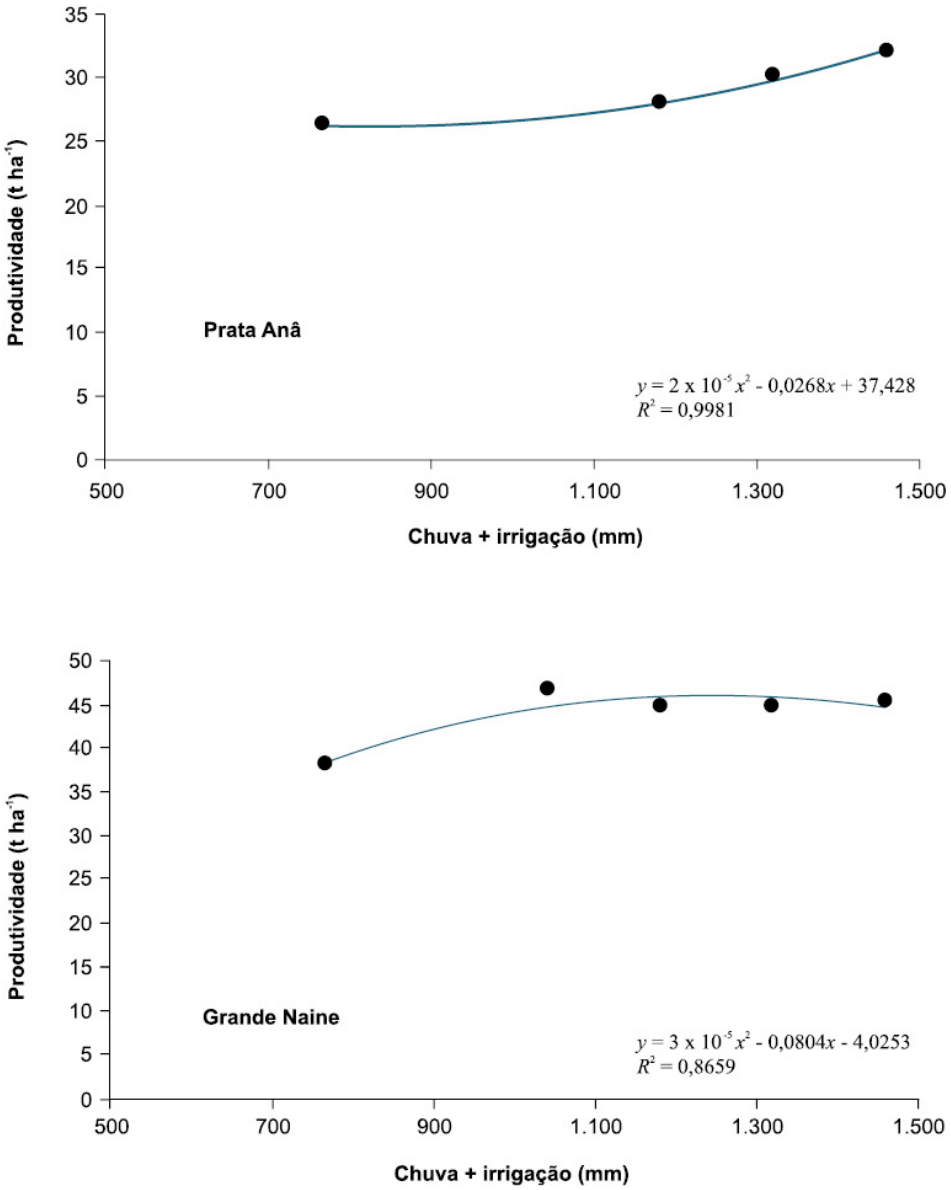


Figura 4. Produtividade do terceiro ciclo das bananeiras 'Prata Anã' (A) e 'Grande Naine' (B) em diferentes níveis de irrigação em Cruz das Almas, Recôncavo Baiano, 2001.

Fonte: Coelho e Borges (2002).

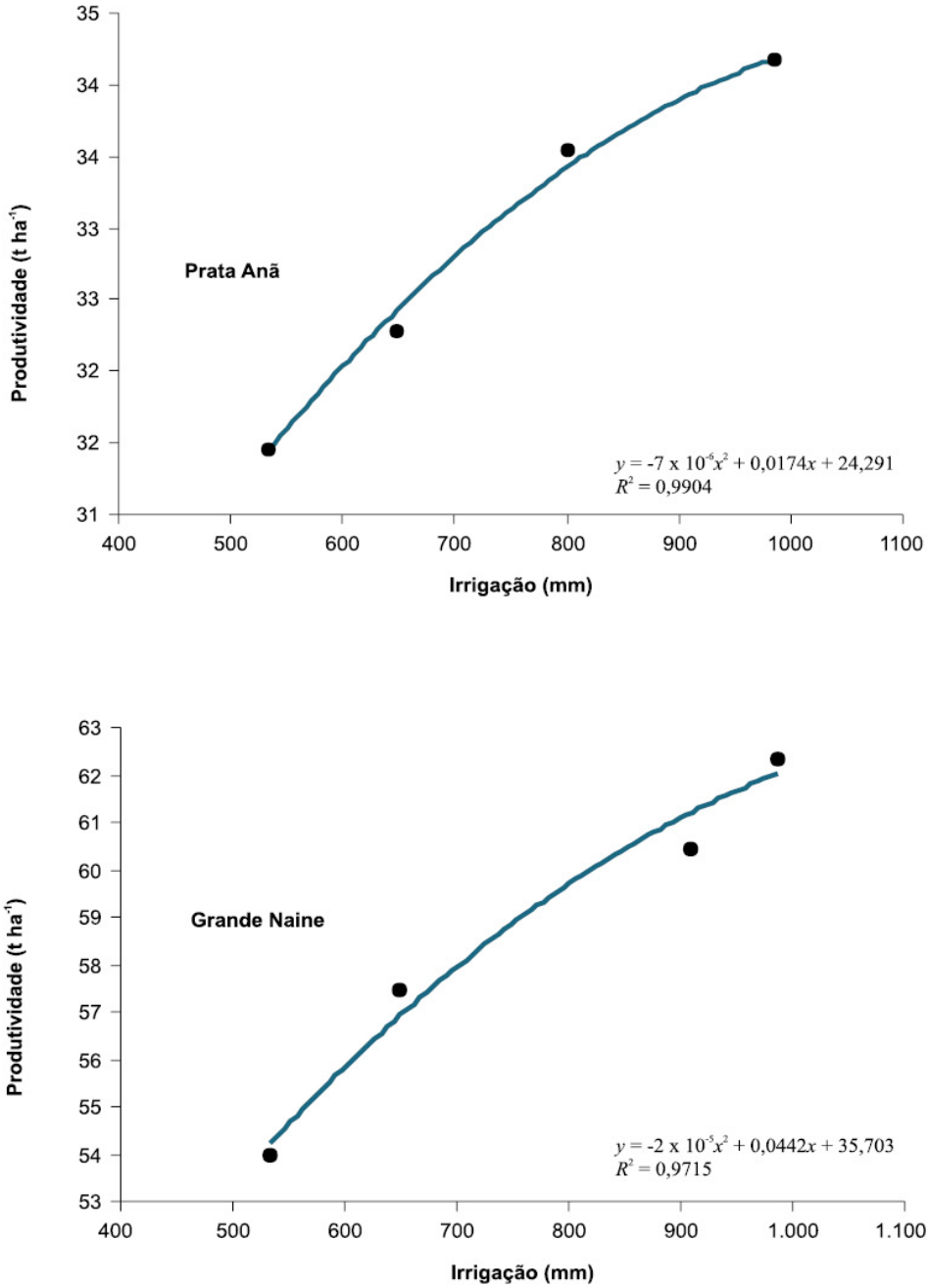


Figura 5. Produtividade do terceiro ciclo das bananeiras 'Prata Anã' (A) e 'Grande Naine' (B) em diferentes níveis de irrigação no norte de Minas Gerais, Nova Porteirinha, 2001.

Fonte: Costa e Coelho (2003).

A irrigação pode elevar a produtividade da bananeira a valores superiores aos apresentados, o que pode ser mostrado por Goenaga e Heber (2000), que obtiveram produtividades de até 70 t ha^{-1} para o uso de coeficientes de cultura de 1,25. Esses níveis de produtividade ocorreram não somente por causa da irrigação, mas também em virtude de outras fontes de variação, como a cultivar usada e o manejo da cultura.

Métodos de irrigação

Não existem restrições à maioria dos métodos de irrigação para a bananeira. A escolha do método vai depender das condições locais de cultivo, como o tipo de solo e seu relevo, o custo de implantação, manutenção e operação de irrigação, bem como a quantidade e a qualidade da água e da mão de obra disponíveis, entre outros fatores. A preferência é por métodos que promovam: a) distribuição uniforme de água no solo, isto é, alto coeficiente de uniformidade de distribuição de água; b) maior eficiência de aplicação de água; c) manutenção de umidade relativa média estável no dossel (OLIVEIRA, 1997).

O método de irrigação por superfície, apesar de já estar estabelecido para bananeiras em vários perímetros irrigados no Brasil, não tem tido crescimento em área, principalmente pelo alto consumo de água e pela baixa eficiência. Entre os sistemas de irrigação por superfície, o de sulcos tem sido o mais utilizado em bananeira nos perímetros irrigados da região Nordeste. O número de sulcos a serem construídos por fileira de plantas vai depender do movimento lateral da água no solo onde a cultura estiver instalada. Para solos argilosos (maior movimento lateral), pode-se utilizar apenas um sulco por fileira de plantas; no entanto, para solos areno-argilosos (menor movimento lateral), são recomendados dois sulcos por fileira de plantas (LIMA; MEIRELLES, 1986; OLIVEIRA, 1986).

O sistema de bacias em nível, também usado na irrigação da bananeira, exige terrenos nivelados ou sistematizados. A vazão necessária deve ser superior a 70 L ha^{-1}, a eficiência normalmente é próxima de 90%, com sulcos de base larga entre fileiras simples (BARRETO et al., 1992).

O método da aspersão também pode ser usado para a cultura da bananeira, por meio dos sistemas de irrigação sobrecopa e subcopa. Esse método resulta numa área molhada de 100%, isto é, a água atinge toda a superfície do solo, seja junto às plantas, seja entre as fileiras. Isso pode ser positivo no que diz respeito ao desenvolvimento das raízes; entretanto, a área molhada de 100% pode ser uma das causas da proliferação de doenças fúngicas. O método da aspersão favorece a umidade na região das folhas da bananeira, por isso facilita o aparecimento de doenças fúngicas, como o mal-de-sigatoka. Em regiões sujeitas a ventos fortes e constantes, a baixa umidade relativa do ar e a altos níveis de temperatura, não se deve optar pelo sistema de aspersão sobrecopa, pelas significativas perdas de água por evaporação e arrastamento das gotas, o que torna o sistema pouco eficiente para a bananeira. Como alternativa, deve-se optar pela irrigação subcopa, com aspersores de ângulo de jato máximo de sete graus (OLIVEIRA, 1997). O impacto do jato do aspersor com o pseudocaule, apesar de não provocar lesões, afeta o coeficiente de uniformidade de distribuição e, consequentemente, a eficiência da irrigação.

O método da irrigação localizada, pela sua maior eficiência e menor consumo de água e energia, tem sido o mais recomendado principalmente em regiões onde o fator água é limitante. No que se refere aos sistemas de microaspersão e gotejamento, o primeiro gera maior área molhada, permitindo um maior desenvolvimento das raízes. No caso da microaspersão, devem ser usados microaspersores de vazões superiores a 45 L h^{-1} para quatro plantas, de forma que se obtenham maiores áreas molhadas. No uso do gotejamento, deve-se atentar para o número e para a disposição dos gotejadores de forma que se estabeleça uma área molhada propícia ao desenvolvimento das raízes. Os gotejadores podem ser instalados em uma ou em duas linhas laterais por fileira de plantas, de modo a prover uma faixa molhada contínua ao longo da linha lateral. Isso reduz o problema de possíveis incompatibilidades da localização dos gotejadores em relação à localização do pseudocaule, a qual muda a cada ciclo.

Absorção de água pelo sistema radicular

A atividade do sistema radicular da bananeira irrigada por microaspersão é influenciada pela distribuição da umidade no volume molhado gerado. Coelho et al. (2001) apresentaram o quadro da absorção de água com o microaspersor entre quatro plantas espaçadas de 4,0 m x 2,0 m x 2,0 m (Figura 6). Uma vez que o microaspersor fica no centro das quatro plantas, a região de maior umidade situa-se próximo do microaspersor, cuja umidade vai-se reduzindo à medida que se distancia radialmente do emissor. Com isso, há uma tendência de migração das raízes em direção ao microaspersor, o que pode ser deduzido a partir das curvas de extração que se prolongam horizontalmente na direção do microaspersor.

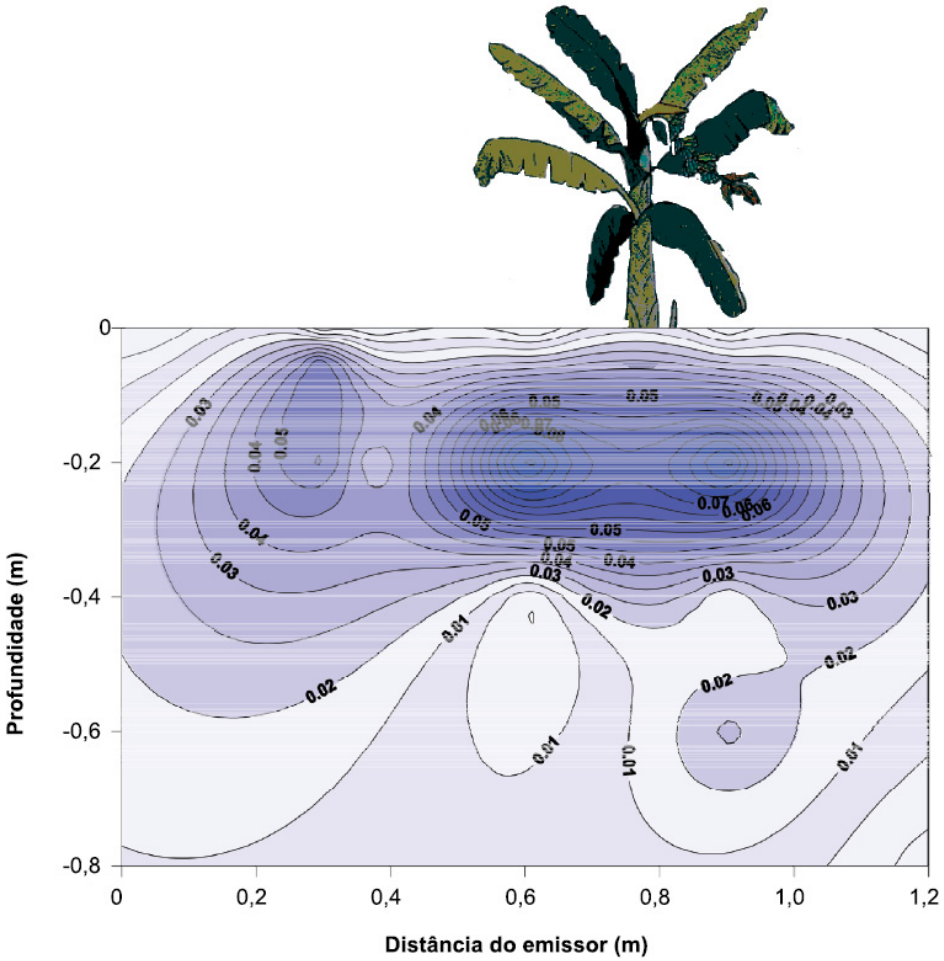


Figura 6. Distribuição da extração de água (cm^3 cm^{-3}) do sistema radicular da bananeira sob microaspersão, com um microaspersor para quatro plantas espaçadas de 4,0 m x 2,0 m x 2,0 m.

Fonte: Coelho et al. (2001).

As maiores intensidades de extração de água pelo sistema radicular ocorrem na profundidade de 0,20 m. Portanto, a profundidade efetiva do sistema radicular, considerando-se a região que efetivamente extrai água e nutrientes, pode ser com segurança de até 0,50 m. Para que sejam definidos o momento da irrigação e a quantidade de água a ser utilizada, o monitoramento do teor de água do solo deve ser feito preferencialmente na região entre 0,15 m e 0,30 m de profundidade, entre a planta e o microaspersor, a distâncias inferiores a 0,40 m da planta. As Figuras 7 e 8 expressam a extração de água pela bananeira 'Prata Anã' em um solo franco-argilo-arenoso (COELHO et al., 2001) para três frequências de aplicação de água: dois, quatro e seis dias. A extração de água ocorre mais superficialmente para a frequência de dois dias, com as zonas de maior intensidade de extração estendendo-se até 0,70 m da planta e a profundidades de até 0,50 m. Para a frequência de quatro dias, em razão do maior volume de solo molhado por irrigação, a extração ocorre em maior profundidade, com maior

intensidade até 0,70 m, porém os maiores valores ocorrem até 0,60 m da planta. Para a frequência de seis dias, a extração se faz presente em um maior volume de solo, conforme esperado, e os maiores valores ocorrem em toda a profundidade monitorada, até 0,80 m, e a distâncias da planta de até 1,10 m.

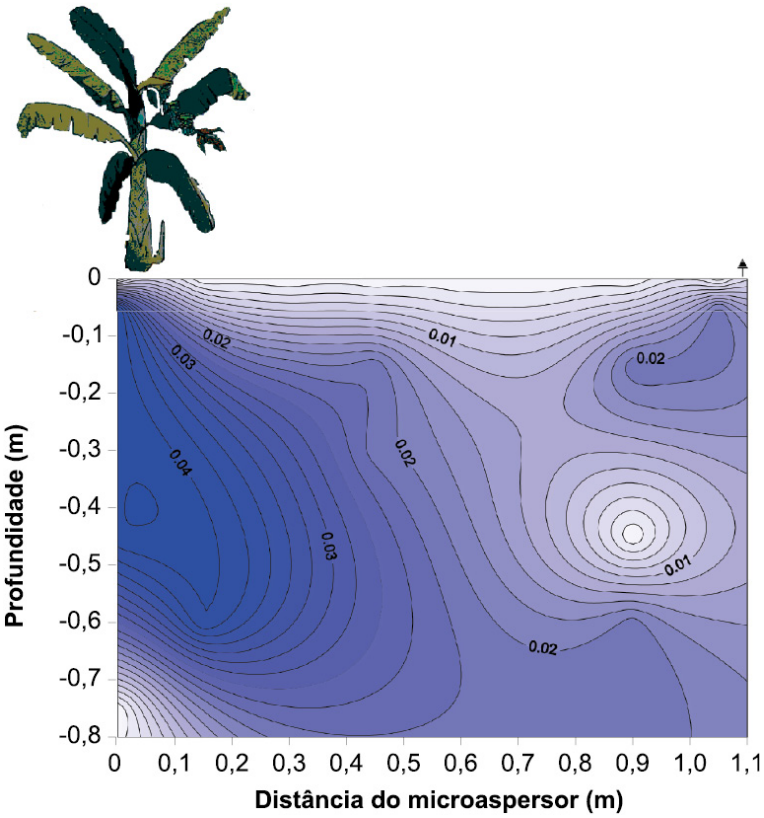


Figura 7. Extração de água (cm^3 cm^{-3}) pela bananeira 'Prata Anã' no espaçamento de 3,0 m x 2,7 m, em frequência de irrigação de dois dias.

Fonte: Coelho et al. (2001).

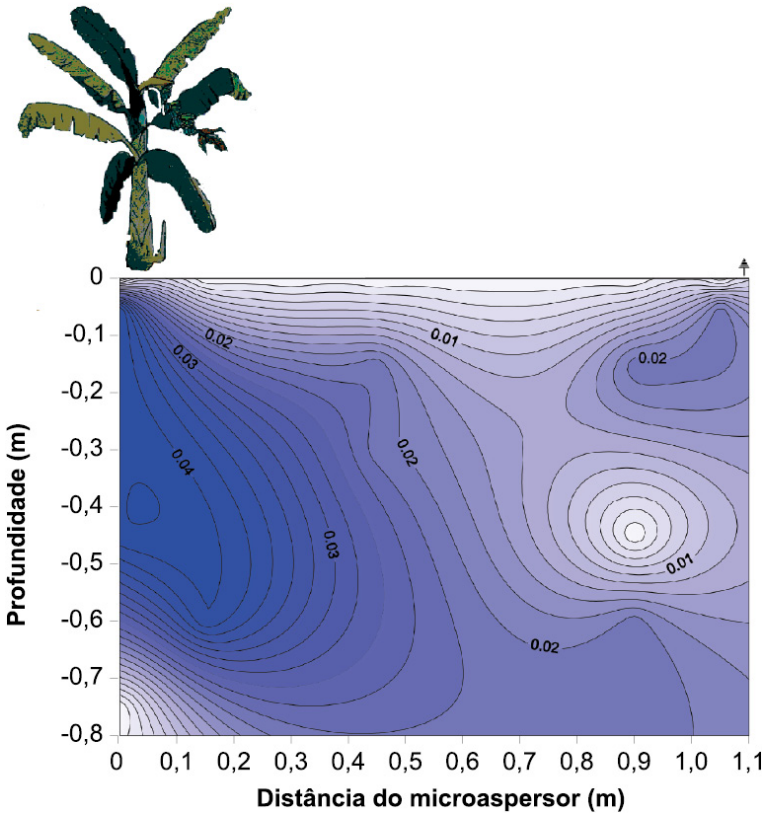


Figura 8. Extração de água (cm^3 cm^{-3}) pela bananeira 'Prata Anã' no espaçamento de 3,0 m x 2,7 m, em frequências de irrigação de quatro e de seis dias.

Fonte: Coelho et al. (2001).

Manejo da irrigação

O cálculo da lâmina de irrigação (líquida ou bruta) a ser reposta ao solo leva em conta os valores da profundidade efetiva do sistema radicular (z) e da redução máxima permissível (f) da disponibilidade de água no solo, sem causar redução significativa (física e econômica) da produtividade da cultura. Sugere-se usar valores para f entre 30% e 35%. Tem-se verificado que mais de 86% da extração de água pelas raízes tem ocorrido em até 0,40 m de profundidade (COELHO et al., 2001), embora o sistema radicular, dependendo do tipo de solo, possa chegar a 2,0 m. Com isso, sugere-se 0,50 m como valor de z para a bananeira.

No caso do manejo da irrigação por meio de sensores de água no solo, como o tensiômetro, devem-se manter os níveis de tensão crítica de água no solo entre 25 kPa e 45 kPa, para camadas superficiais do solo (até 0,25 m), e entre 35 kPa até 50 kPa, para a profundidade próxima de 0,40 m.

Um ponto importante a ser observado diz respeito à localização dos sensores no perfil do solo. Essa localização deve estar embasada na distribuição da extração de água no volume molhado do solo, onde se situa o sistema radicular da bananeira. Não adianta instalar sensores de água no solo onde não há absorção de água ou onde a absorção não seja significativa. Recomenda-se instalar os tensiômetros a profundidades entre 0,20 m e 0,40 m e a distâncias de 0,30 m a 0,40 m da planta em direção ao microaspersor, para o caso de um microaspersor para quatro plantas.

O uso do tanque Classe A para manejo da irrigação, além de servir na determinação da ETo, permite obter uma relação direta entre a evaporação do tanque ECA, em mm, e a evapotranspiração da cultura ETc, em mm, por meio de um fator de conversão k, como segue:

$$ETc = k \times ECA \quad (1)$$

A equação 1 representa uma outra maneira de usar o tanque Classe A para fins de manejo da irrigação. A princípio, sugere-se valor de 0,6 para k (OLIVEIRA et al., 1985), que poderá ser ajustado pelo usuário, dependendo da região.

Qualidade da água e salinidade

Para o seu ótimo desenvolvimento vegetativo, com a consequente otimização da produtividade, a bananeira requer valores de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação não superiores a 1,1 dS m^{-1}, isto é, classificação C3 (DOORENBOS; KASSAM, 1984). A razão de adsorção de sódio (RAS) deve ser inferior ou igual a 10,0 (classificação S1).

Em condições de solos que tenham potencial para salinização, principalmente em regiões semiáridas, a lâmina total necessária (LTN) também deve incluir uma fração de água para evitar riscos de salinidade. Nesse caso, portanto, há necessidade de lixiviação, que consiste na razão entre a lâmina de drenagem e a lâmina de irrigação. Em termos matemáticos, a necessidade de lixiviação (NL) pode ser obtida pela equação 2:

$$NL = \frac{CEi}{2\,(maxCEe)} \quad (2)$$

em que NL é a necessidade de lixiviação (decimal), CEi a condutividade elétrica da água de irrigação (dS m^{-1}) e $maxCEe$ a condutividade elétrica máxima (dS m^{-1}) do extrato de

saturação do solo que reduziria significativamente a produtividade da cultura. Para a bananeira, esse valor é de 8 dS m^{-1}.

Dependendo do valor de NL, deve-se acrescentar ao denominador da equação 2 a diferença (1 - NL), que adiciona a fração da água para lixiviação, conforme a equação 3:

$$LTN = \frac{LRN}{Ea\ (1 - NL)} \quad (3)$$

Se $NL \leq 0{,}10$, LTN não deve ser corrigido; no entanto, se $NL > 0{,}10$, LTN deve ser corrigido.

Fertirrigação

A fertirrigação − aplicação de fertilizantes via água de irrigação − é uma prática empregada na agricultura irrigada. Trata-se do meio mais eficiente de nutrição, pois combina dois fatores essenciais ao crescimento, ao desenvolvimento e à produção das plantas: água e nutrientes.

A bananeira é uma planta de crescimento rápido que requer, para seu desenvolvimento e produção, quantidades adequadas de nutrientes disponíveis no solo. Esses nutrientes podem ser supridos pelo próprio solo e pelos resíduos das colheitas; no entanto, para produções economicamente rentáveis, na maioria das vezes é necessário aplicar fertilizantes químicos e orgânicos.

Necessidades de nutrientes

Produção de matéria seca

O desenvolvimento da bananeira é crescente até o florescimento, notadamente a partir do sexto mês (180 dias), independentemente das combinações aplicadas de N e K_2O (Figura 9).

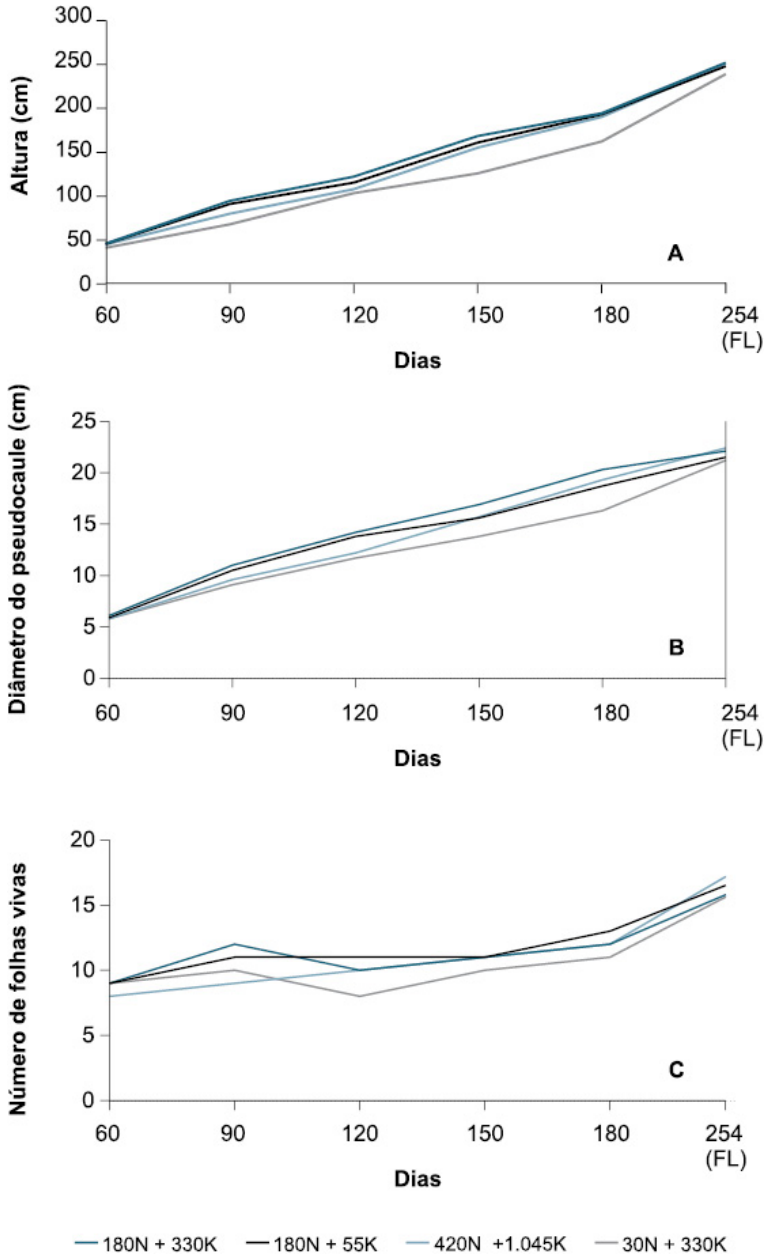


Figura 9. Desenvolvimento da bananeira 'Prata Anã' em altura (A), em diâmetro (B) do pseudocaule e em número de folhas vivas (C), até o florescimento, em três combinações NK. Cruz das Almas, BA, 1999−2000.

É grande a quantidade de matéria seca produzida pela bananeira na época da colheita, com diferenças entre genótipos (Tabela 3). O pseudocaule (bainhas + cilindro central) acumula maior quantidade de matéria seca, seguido pelo cacho, o qual corresponde a aproximadamente 34% da quantidade total produzida na colheita. Assim, 66% da matéria seca da colheita é devolvida ao solo, e esse percentual corresponde a uma média de 9,6 t ha^{-1} (8.056 g $planta^{-1}$ x 1.200 plantas ha^{-1}) de massa vegetal seca devolvida ao solo (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidades de matéria seca produzidas por genótipos de bananeira, na época da colheita, e a distribuição nos diferentes órgãos da planta.

Genótipo	Total planta	Cacho				Rizoma	Bainha	Cilindro central	Limbo	Pecíolo + nervura
		Frutos	Engaço + ráquis feminina	Ráquis mas-culina	Coração					
	(g planta^{-1})									
Caipira (AAA)	11.343,0	3.404,9	173,1	79,6	55,5	2.124,0	3.198,8	620,9	901,7	784,5
Prata Anã (AAB)	8.822,2	2.521,0	177,1	48,7	20,8	1.990,0	3.034,2	621,4	186,6	222,4
Pioneira (AAAB)	8.885,9	1.876,9	113,2	59,7	53,1	1.882,3	3.160,1	470,4	689,5	580,7
FHIA-18 (AAAB)	9.745,1	3.217,7	198,2	65,2	38,1	1.602,4	2.889,7	353,6	771,1	609,1
Terra (AAB)	22.093,7	7.812,5	387,5	272,2	85,8	2.359,8	5.920,9	1.250,7	2.905,5	1.098,8
Média	**12.178,0**	**3.766,6**	**209,8**	**105,1**	**50,7**	**1.991,7**	**3.640,7**	**663,4**	**1.090,9**	**659,1**

Fonte: Borges e Silva (2000) e Faria (1997).

Absorção de nutrientes

O cultivo da banana demanda grandes quantidades de nutrientes para manter bom desenvolvimento e obter altos rendimentos, pois produz bastante massa vegetativa, além de absorver e exportar elevada quantidade de nutrientes (LÓPEZ, 1994; ROBINSON, 1996). O potássio (K) e o nitrogênio (N) são os nutrientes mais absorvidos e necessários ao crescimento e à produção da bananeira, seguidos pelo magnésio (Mg) e pelo cálcio (Ca) (Tabela 4). Verificam-se em sequência, e em menor grau de absorção, os nutrientes enxofre (S) e fósforo (P) (Tabela 4).

Tabela 4. Quantidades de macronutrientes absorvidos (AB), exportados (EX) e restituídos (RE) ao solo por genótipos de bananeira, na colheita.

Genótipo	N			P			K			Ca			Mg			S		
	AB	EX	RE	AB	EX	RE	AB	EX	RE	AB	EX	RE	AB	EX	RE	AB	EX	RE
	(kg ha^{-1})																	
Caipira (AAA)	146,9	52,9	94,0	9,8	3,9	5,9	313,9	124,7	189,2	53,0	2,8	50,2	58,0	5,2	52,8	9,3	3,0	6,3
Prata Anã (AAB)	136,5	44,4	92,1	10,1	4,6	5,5	418,5	107,1	311,4	71,6	5,5	66,1	61,6	6,9	54,7	5,8	2,4	3,4
Pioneira (AAAB)	116,7	29,7	87,0	8,5	3,2	5,3	371,1	100,0	271,1	73,2	3,6	69,6	70,8	5,0	65,8	5,3	1,1	4,2
FHIA-18 (AAAB)	144,1	50,9	93,2	11,2	5,2	6,0	382,4	142,4	240,0	74,1	4,8	69,3	64,5	7,0	57,5	7,5	2,8	4,7
Terra (AAB)	227,9	57,9	170,0	15,5	5,9	9,6	459,2	156,2	303,0	131,0	5,5	125,5	193,2	6,5	186,7	35,9	14,9	21,0
Média	**154,4**	**47,2**	**107,2**	**11,0**	**4,6**	**6,4**	**389,0**	**126,1**	**262,9**	**80,6**	**4,4**	**76,2**	**89,6**	**6,1**	**83,5**	**12,8**	**4,8**	**8,0**

Fonte: Borges e Silva (2000) e Faria (1997).

Dos micronutrientes estudados, o boro (B) e o zinco (Zn) foram os mais absorvidos, principalmente pela bananeira ‘Terra’, vindo em seguida o cobre (Cu) (Tabela 5).

Existe variação entre genótipos, com destaque para a maior absorção de nutrientes pela bananeira ‘Terra’, certamente em razão de maior produção de matéria seca e das

condições edafoclimáticas diferentes do plantio (Tabelas 4 e 5).

Tabela 5. Quantidades de micronutrientes absorvidos (AB), exportados (EX) e restituídos (RE) ao solo por genótipos de bananeira, na colheita.

Genótipo	B			Cu			Zn		
	AB	EX	RE	AB	EX	RE	AB	EX	RE
	(g ha^{-1})								
Caipira (AAA)	295,5	98,8	196,7	52,1	11,7	40,4	132,9	40,5	92,4
Prata Anã (AAB)	309,5	70,1	239,4	26,9	5,4	21,5	148,1	52,4	95,7
Pioneira (AAAB)	222,3	50,3	172,0	30,1	4,9	25,2	120,5	33,2	87,3
FHIA-18 (AAAB)	237,7	81,9	155,8	34,7	10,2	24,5	115,7	43,5	72,2
Terra (AAB)	482,7	132,6	350,1	239,9	155,4	84,5	662,0	324,2	337,8
Média	**309,5**	**86,7**	**222,8**	**76,7**	**37,5**	**39,2**	**235,8**	**98,8**	**137,0**

Fonte: Borges e Silva (2000) e Faria (1997).

Exportação de nutrientes

Além do conhecimento do conteúdo total de nutrientes absorvidos pela bananeira, é importante quantificar o total exportado pela colheita, com o objetivo de estimar a devolução ao solo pelos restos vegetais e a necessidade de restituição via fertilização. Na colheita, os nutrientes são exportados pelo cacho (frutos + engaço + ráquis feminina + ráquis masculina + coração) por ocasião do seu corte.

Na maioria dos trabalhos, verifica-se que a exportação dos macronutrientes absorvidos pelo cacho ocorre na seguinte ordem decrescente: K > N > Mg, variando para as quantidades de S > P e Ca (Tabela 4). As cultivares com maior quantidade de matéria seca no cacho exportam maiores quantidades de macronutrientes.

A exportação de micronutrientes pelo cacho em relação ao total absorvido é de 28% para o B, 49% para o Cu e 42% para o Zn (Tabela 5).

Restituição de nutrientes

No bananal, apesar da absorção de grande quantidade de nutrientes, 66% da massa vegetativa produzida na colheita retornam ao solo em forma de pseudocaules, folhas e rizoma (Tabela 3). Dessa maneira, a ciclagem dos nutrientes gera uma recuperação significativa da quantidade desses mesmos nutrientes. A produção de matéria seca chega a atingir 15 t ha^{-1} $ciclo^{-1}$ no caso da bananeira ‘Terra’ (Tabela 3). Assim, as quantidades de nutrientes que retornam ao solo em um plantio de banana são consideráveis, podendo chegar a valores máximos aproximados de 170 kg de N, 9,6 kg de P, 303 kg de K, 126 kg de Ca, 187 kg de Mg e 21 kg de S ha^{-1} $ciclo^{-1}$, na época da colheita (Tabela 4).

Os nutrientes são fornecidos à bananeira pelo solo, por meio dos fertilizantes orgânicos ou minerais, e pelos resíduos da própria cultura. No entanto, ocorrem perdas por lixiviação, volatilização e erosão, com intensidades que vão depender das condições físicas e químicas do solo, do regime de chuvas, etc. A quantidade de nutrientes perdida por lixiviação é difícil de ser medida, mas pode chegar a 80% do fertilizante aplicado. Para diminuir essas perdas, o sistema radicular deve ser vigoroso, e os fertilizantes devem ser aplicados em pequenas quantidades.

Perdas provocadas pela lixiviação e pelo escorrimento superficial em Latossolo Franco-Argilo-Arenoso da Costa do Marfim, em condições de precipitação média de 1.600 mm ano^{-1} e declividade de 14%, foram estimadas em: N=219, P=1,8, K=307, Ca=266, Mg=108 e matéria orgânica=125 kg ha^{-1} ano^{-1} (GODEFROY et al., 1970, 1975). Tais perdas representam de 50% a 75% dos nutrientes aplicados como adubo, exceto no caso do P (10%). Perdas por erosão são grandes somente em terrenos muito inclinados e no primeiro ano, quando o solo ainda não está protegido pelos resíduos da cultura.

Nutrientes para fertirrigação

A técnica de aplicação de fertilizantes via água de irrigação proporciona o uso racional de fertilizantes em agricultura irrigada, uma vez que aumenta sua eficiência de uso. Além disso, reduz a mão de obra e o custo com máquinas e flexibiliza a época de aplicação, visto que as doses recomendadas podem ser fracionadas conforme a necessidade da cultura.

Nitrogênio

O nitrogênio (N) é importante para o crescimento vegetativo da planta, principalmente nos três primeiros meses, quando o meristema está em desenvolvimento (WARNER; FOX, 1977). Além disso, favorece a emissão e o desenvolvimento dos perfilhos e aumenta consideravelmente a quantidade de matéria seca (LAHAV; TURNER, 1983).

É o nutriente mais aplicado via água de irrigação, pois apresenta alta mobilidade no solo, principalmente na forma de nitrato (NO_3^-). Pela fertirrigação, parcela-se o N de acordo com a demanda da bananeira, reduzindo as perdas do nutriente principalmente em solos arenosos.

No Brasil, as recomendações variam de 90 kg a 400 kg de N ha^{-1} ano^{-1}, dependendo dos seguintes fatores: textura do solo, teor de matéria orgânica, manejo adotado, idade da

planta e produtividade esperada. Em geral, os solos mais argilosos e com maior teor de matéria orgânica requerem menores quantidades de N (BORGES; COSTA, 2002).

No primeiro ano, a aplicação de N pode ser distribuída da seguinte forma: 10% nos primeiros 3 meses do plantio; 75% do quarto mês até o florescimento (do sétimo ao nono mês); 15% do florescimento até a colheita (Tabela 6). Para os ciclos seguintes, pode-se adotar a mesma distribuição recomendada a partir do quarto mês do plantio.

Tabela 6. Distribuição percentual de nitrogênio (N) e de potássio (K_2O) no ciclo fenológico da bananeira.

Época	N	K_2O
	%	
Do 1º ao 3º mês	10	0
Do 4º mês ao florescimento (do 7º ao 9º mês)	75	90
Do florescimento à colheita	15	10

Fonte: Borges e Costa (2002).

Entre as principais fontes de N, o nitrato de amônio é o mais solúvel, seguido pelo nitrato de cálcio e pela ureia; o sulfato de amônio é o de maior mobilidade. Trabalho conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, no qual foram estudadas as fontes de N, o sulfato de amônio e a ureia, após três ciclos de cultivo, não mostraram diferença significativa na produtividade entre as fontes. Nesse caso, pode-se optar pela ureia por ter um preço menor por unidade de nutriente.

Fósforo

O fósforo (P) é o macronutriente menos absorvido pela bananeira. Aproximadamente 50% de P são exportados pelos frutos. Esse nutriente favorece o desenvolvimento vegetativo e o sistema radicular.

As doses de P recomendadas nas regiões bananeiras do mundo variam de 80 kg a 690 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1}. No Brasil, as doses variam de 0 kg a 160 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1}, dependendo dos teores no solo (BORGES et al., 1999).

Quando indicado, o P deve ser aplicado à cova de plantio por ser um elemento com alto poder de fixação e com pouca mobilidade no solo, aumentando assim sua eficiência de absorção. Deve ser misturado à terra de enchimento da cova, junto com o adubo orgânico. Se necessário, deve-se repetir a adubação fosfatada anualmente (após análise de solo), em cobertura.

Diferentemente do nitrogênio, o fósforo é um nutriente pouco utilizado em fertirrigação em virtude da sua baixa difusão no solo. A adubação fosfatada apresenta efeito residual de

longa duração, pois o P não se move a longas distâncias de onde é colocado, e a lixiviação do nutriente no perfil do solo é pequena (BORGES; COSTA, 2002).

Villas Boas et al. (1994) citam o caminhamento do P aplicado na forma de MAP, por gotejamento, vencendo a sua capacidade de fixação.

O uso do fósforo na fertirrigação ocorre, principalmente, nas formas de fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP) e ácido fosfórico. Este último, apesar do risco de corrosão em condutos metálicos, não causa problemas de entupimentos nos emissores. Quando se aplicam fontes inorgânicas de fósforo, existe a probabilidade de precipitação do fosfato se a água apresentar cálcio e se o pH for superior a 6,5. Contudo, se o pH da água for inferior a 7,0, não há limitação para o uso do DAP; se for superior a 7,0, deve-se utilizar o MAP (VILLAS BOAS et al., 1994).

Potássio

O potássio (K) é considerado o elemento mais importante para a nutrição da bananeira, na qual está presente em quantidade elevada. Corresponde aproximadamente a 62% do total de macronutrientes e a 41% do total de nutrientes da planta. Além disso, mais de 35% do K total absorvido é exportado pelos frutos.

Trata-se de um nutriente importante não só na translocação dos fotossintatos e no balanço hídrico, mas também na produção de frutos, uma vez que aumenta sua resistência ao transporte e melhora sua qualidade em virtude do aumento dos teores de sólidos solúveis totais e de açúcares e do decréscimo da acidez da polpa (LANGENEGGER; DU PLESSIS, 1980).

As quantidades de K recomendadas nas regiões bananeiras do mundo variam de 228 kg a 1.600 kg de K_2O ha^{-1} ano^{-1}. No Brasil, variam de 0 kg a 750 kg de K_2O ha^{-1} ano^{-1}, dependendo dos teores no solo. Respostas de até 1.600 kg de K_2O ha^{-1} ano^{-1} foram obtidas em áreas irrigadas do norte de Minas Gerais. Contudo, deve-se sempre considerar o preço do insumo e do produto para avaliar a economicidade (BORGES; COSTA, 2002).

A aplicação de K (K_2O) pode, a princípio, ser conduzida com frequência semanal ou a cada 15 dias, e a quantidade para o primeiro ano deve ser distribuída da seguinte forma: considerando-se a maior exigência do nutriente a partir do quarto mês, inicia-se a sua aplicação nessa época, adicionando-se 90% da quantidade recomendada até o florescimento (do sétimo ao nono mês) e 10% do florescimento até a colheita (Tabela 6). Nos ciclos seguintes, pode-se distribuir a quantidade de K recomendada a partir do quarto mês do plantio (BORGES; COSTA, 2002).

Entre as principais fontes de K, o cloreto de potássio é o mais solúvel e utilizado, seguido pelo nitrato de potássio e pelo sulfato de potássio.

Cálcio, magnésio e enxofre

Quanto aos macronutrientes cálcio (Ca) e magnésio (Mg), são normalmente supridos pela calagem que, entre outros benefícios, equilibra a relação K:Ca:Mg e eleva a saturação por bases.

O Ca é constituinte estrutural dos pectatos de cálcio da lamela média das células. Participa dos processos e do funcionamento das membranas, bem como da absorção iônica (MALAVOLTA et al., 1989). O nitrato de cálcio é a fonte mais solúvel, podendo ser utilizados também o cloreto de cálcio e as formas quelatizadas.

O Mg é integrante da molécula de clorofila e ativador de enzimas. Além disso, participa dos processos de absorção iônica na fotossíntese e na respiração (MALAVOLTA et al., 1989).

Em razão das quantidades elevadas de potássio exigidas pela bananeira, a aplicação de Mg é importante para manter a relação K:Ca:Mg ($cmol_c\ dm^{-3}$) de 0,5:3,5:1,0 a 0,3:2,0:1,0. Na Costa Rica, encontraram-se respostas favoráveis à aplicação de 100 kg de MgO ha^{-1} ano^{-1} normalmente via solo (BORGES; COSTA, 2002).

Os adubos formulados NPK apresentam, em geral, o inconveniente de não conterem enxofre já que, na sua composição, entram normalmente ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Por conseguinte, recomenda-se, sempre que possível, alternar as fontes de nitrogênio com sulfato de amônio e de fósforo com superfosfato simples. Acredita-se que a aplicação de sulfato de amônio seja suficiente para suprir o enxofre (S) necessário à bananeira, caso contrário, recomenda-se a aplicação de 30 kg a 50 kg de S ha^{-1} ano^{-1}.

Micronutrientes

Normalmente, o boro (B) e o zinco (Zn) são os micronutrientes encontrados em deficiência na bananeira. No entanto, pode-se colocar uma mistura de todos os micronutrientes no plantio para prevenir futuras deficiências de todos eles.

A disponibilidade de B é reduzida em solos com pH elevado, altos teores de cálcio, alumínio, ferro e areia e baixo teor de matéria orgânica. Para suprir a falta do nutriente, podem-se aplicar 2 kg de B ha^{-1} ano^{-1}.

Quanto ao Zn, a sua disponibilidade é reduzida em solos neutros ou alcalinos, com altos teores de P e de argila. Para suprir a falta do nutriente, podem-se aplicar 10 kg de Zn ha^{-1} ano^{-1}.

Os quelatos e os sulfatos são os compostos geralmente utilizados para corrigir as deficiências de micronutrientes. O zinco, o ferro, o cobre e o manganês podem reagir com os sais da água de irrigação e favorecer a precipitação, causando entupimento dos gotejadores. Por essa razão, os quelatos são preferíveis por evitar precipitação, além de

apresentarem grande mobilidade (VILLAS BOAS et al., 1994). Esses autores citam trabalho com Zn, em que verificaram maior aprofundamento do nutriente quando aplicado na forma de quelato em relação à aplicação de sais.

Esquema de fertirrigação

Recomenda-se para a bananeira sob fertirrigação o seguinte esquema de adubação:

Plantio: de 50 g a 110 g de P_2O_5, dependendo do teor no solo, e 50 g de FTE BR 2 por cova. Tanto o fósforo quanto os micronutrientes devem ser repetidos anualmente, após análise química do solo (BORGES; COSTA, 2002).

Fertirrigação: de 150 kg a 270 kg de N ha^{-1} e 0 kg a 750 kg de K_2O ha^{-1}, dependendo da produtividade esperada e, no caso da quantidade de K_2O, do teor de K no solo. De acordo com as quantidades de N e de K_2O recomendadas, a distribuição desses nutrientes no ciclo da bananeira pode ser realizada em intervalos de 15 dias, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Quantidades de nitrogênio (N) e de potássio (K_2O) a serem aplicadas durante o ciclo fenológico da bananeira sob fertirrigação.

Época	Quantidade de N		Quantidade de K_2O	
	Total	Aplicação a cada 15 dias	Total	Aplicação a cada 15 dias
	(kg ha^{-1})			
Do 1º ao 3º mês	15,0–27,0	2,5–4,5	0	0
Do 4º mês ao florescimento (do 7º ao 9º mês)	112,5–202,5	9,5–17,0	0–675	0–48,2
Do florescimento à colheita	22,5–40,5	4,0–7,0	0–75	0–2,5

Fonte: adaptado de Borges e Costa (2002).

Preparo da solução fertilizante

O pH da solução fertilizante deve ser mantido entre 5,0 e 6,5; acima de 7,5 pode ocorrer precipitação de carbonatos de cálcio e de magnésio, causando entupimento das mangueiras, aspersores e gotejadores. A condutividade elétrica da solução deve ser mantida entre 1,44 dS m^{-1} e 2,88 dS m^{-1} para evitar riscos de salinização. Se a condutividade elétrica da água for superior a 1,00 dSm^{-1}, deve-se trocar o cloreto de potássio (índice salino/unidade = 1,98) pelo nitrato de potássio (índice salino/unidade = 1,30) ou pelo sulfato de potássio (índice salino/unidade = 0,96). Recomenda-se também, nesses casos, empregar a ureia (índice salino/unidade = 1,70), não sendo aconselhável o

uso do nitrato de amônio (índice salino/unidade = 3,28) ou do sulfato de amônio (índice salino/unidade = 3,45) (VIEIRA et al., 2001).

Todos os macro e micronutrientes podem ser aplicados via água de irrigação desde que se considere a compatibilidade entre eles no preparo da solução. De maneira geral, os nutrientes são mais aplicados à bananeira via água de irrigação. A quantidade recomendada do nutriente vai depender da análise química do solo e da demanda da planta nos diferentes estádios de desenvolvimento.

A quantidade do fertilizante, normalmente ureia (fonte de nitrogênio) e cloreto de potássio (fonte de potássio), é diluída em um balde ou tanque cujo volume é calculado pela equação 4:

$$V(\mathrm{L}) = \frac{M \times Qs \times Cn}{Qf \times Cf} \qquad (4)$$

em que M é a massa do fertilizante, fonte do nutriente (g); Qs a vazão de aplicação da solução fertilizante no sistema de irrigação (L h^{-1}), que corresponde à vazão de uma bomba injetora elétrica ou hidráulica, ou de um venturi, ou de um tanque diferencial (Ex.: 60 L h^{-1}); Cn a concentração do nutriente no fertilizante (Ex.: 0,45 no caso da ureia); Qf a vazão da linha de irrigação (L h^{-1}), que corresponde à vazão total dos emissores (aspersor, microaspersor ou gotejador) durante a fertirrigação, e Cf a concentração do nutriente na saída dos emissores (g L^{-1}), que pode ser tomada entre 0,20 g L^{-1} e 0,70 g L^{-1} e dependerá da disponibilidade do recipiente para o preparo da solução e do tempo para fertirrigar a área.

Exemplo: ao assumir que a concentração dos nutrientes na água de irrigação é mínima, calcula-se o volume do tanque para diluição de ureia para a seguinte situação:

1 ha de banana = 1.666 plantas (espaçamento = 4,0 m x 2,0 m x 2,0 m)

1 microaspersor para quatro plantas

Nº de microaspersores = 417

Vazão de cada microaspersor = 45 L h^{-1}

Qf (vazão da linha de irrigação) = 417 x 45 = 18.765 L h^{-1}

Dose de N recomendada = 200 kg ha^{-1} ano^{-1}

Fonte de N = ureia (0,45 de N)

Frequência de fertirrigação = quinzenal = 24 aplicações ano^{-1}

M = 444 kg de ureia ha^{-1} ÷ 24 aplicações = 18.500 g de ureia ha^{-1} $aplicação^{-1}$

Cf = 0,45 g L^{-1}

Qs = bomba injetora hidráulica de 60 L h^{-1}

$$V(\mathrm{L}) = \frac{18.500\,\mathrm{g} \times 60\,\mathrm{L\,h^{-1}} \times 0{,}45}{18.765\,\mathrm{L\,h^{-1}} \times 0{,}45\,\mathrm{g\,L^{-1}}} = \frac{499.500\,\mathrm{g}}{8444{,}25\,\mathrm{g\,L^{-1}}} = 59\,\mathrm{L}$$

Frequência de aplicação e monitoramento

Embora seja de conhecimento geral o ganho em termos econômicos e a maior eficiência da aplicação dos adubos via água de irrigação, são poucas as informações disponíveis para a bananeira, no que diz respeito à frequência de aplicação de fertilizantes, que evitem perdas e proporcionem melhor resposta da planta e maior retorno econômico para o produtor. Trabalhos conduzidos no norte de Minas Gerais para a bananeira 'Prata Anã' mostraram no primeiro ciclo, tanto em solo arenoso quanto em argiloso, que a frequência de fertirrigação quinzenal proporcionou melhor desenvolvimento vegetativo e produção da bananeira. No Estado da Bahia, em Latossolo Amarelo, em três ciclos de cultivo, não houve diferença estatística entre as frequências de fertirrigação estudadas (3, 7, 11 e 15 dias); assim, ela pode ser realizada quinzenalmente (Tabela 8). No entanto, em solos mais arenosos, recomenda-se a frequência de fertirrigação semanal.

Tabela 8. Variáveis produtivas da bananeira 'Prata Anã' em razão das frequências de fertirrigação de nitrogênio (400 kg ha^{-1} na forma de ureia). Média de três ciclos, Cruz das Almas, BA.

Frequência (dias)	PRD[1] (t ha^{-1})			NFR[1]			PMF[1] (g)		
	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo
3	25,9	25,3	32,2	119	155	182	130,7	98,1	107,4
7	22,1	21,3	31,2	111	143	179	121,4	89,1	104,5
11	24,2	21,9	29,8	118	151	183	125,5	89,1	99,5
15	24,2	21,0	30,1	116	142	178	124,8	88,9	100,7
Média		**25,8**			**148**			**106,6**	

[1] PRD = produtividade; NFR = número de frutos/cacho; PMF = peso médio dos frutos.

Para o monitoramento da fertirrigação, recomenda-se a análise química do solo a cada 6 meses, incluindo a condutividade do extrato de saturação do solo (BORGES; COELHO, 2002).

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements**. Rome, IT: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage, 56).

BARRETO, A. N.; NOGUEIRA, L. C.; CAMPOS, G. M. **Irrigação por bacias em nível na cultura da bananeira**. Parnaíba: EMBRAPA-CNPAI, 1992. 33 p. (EMBRAPA-CNPAI. Circular Técnica, 4).

BHATTACHARYYA, R. K.; RAO, V. N. M. Water requirement, crop coefficient and water-use efficiency of 'Robusta' banana under different soil covers and soil moisture regimes. **Scientia Horticiulturae**, Amsterdam, NL, v. 25, n. 3, p. 263-269, 1984.

BORGES, A. L.; COELHO, E. F. **Fertirrigação em bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. 4 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Comunicado Técnico, 74).

BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação: banana. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 77-84.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. da S. Solos, nutrição e adubação. In: ALVES, E. J. **A cultura da banana**: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1999. p. 197-260.

BORGES, A. L; SILVA, T. O. da. **Absorção, exportação e restituição ao solo de nutrientes pela bananeira ´Terra**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 3 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Comunicado Técnico, 66).

COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Necessidades hidricas e produtividade da bananeira Prata Anã e Grand Naine sob irrigação suplementar. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. **A inserção da agricultura irrigada no ciclo hidrológico com**: segurança alimentar, revitalização hídrica e sustentabilidade ambiental. Brasília, DF: ABID, 2002. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; TEIXEIRA, A. H. C.; OLIVEIRA, S. L. de. **Irrigação da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 8 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 53).

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, S. L.; COSTA, E. L. Irrigação da bananeira. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais**... Nova Porteirinha: Epamig: Unimontes, 2001. p. 91-101.

COSTA, E. L.; COELHO, E. F. Necessidade hídrica e produtividade das bananeiras ´Prata Anã´ e ´Grand Naine´ sob irrigação nas condições do Norte de Minas. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Brasília, DF: ABID, 2003. 1 CD-ROM.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1984. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

FARIA, N. G. **Absorção de nutrientes por variedades e híbridos promissores de bananeira**. 1997. 66 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.

GODEFROY, J.; MULLER, M.; ROOSE, E. Estimation des pertes par lixiviation des elements fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Cote d´Ivoire. **Fruits**, Paris, FR, v. 25, n. 6, p. 403-423, 1970.

GODEFROY, J.; ROOSE, E.; MULLER, M. Estimation des pertes par les eaux de ruissellement et de drainagge des element fertilizants dans un sol de bananeraie du sud de la Cote d`Ivoire. **Fruits**, Paris, FR, v. 30, n. 4, p. 223-235, 1975.

GOENAGA, R.; HERBER, I. Yield and quality of banana irrigated with fractions of class A pan evaporation on an oxisol. **Agronomy Journal**, Madson, v. 92, n. 5, p. 1008-1012, 2000.

LAHAV, E.; TURNER, D. **Banana nutrition**. Bern, CH: International Potash Institute, 1983. 62 p. (IPI. Bulletin, 7).

LANGENEGGER, W.; DU PLESSIS, S. F. **Fertilizer in banana cultivation**. Africa do Sul: Citrus and Subtropical Fruit Research Institute, 1980. 1 p. (Farming in South Africa. Bananas E.1).

LIMA, C. A. S.; MEIRELLES, M. L. Exigência hídrica e irrigação do mamoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 134, p. 37-39, 1986.

LÓPEZ, A. Fertilización del cultivo de banano con diferentes doses de nitrógeno, fósforo y potasio. In: REUNIÓN DE LA ACORBAT, 10., 1991, Tabasco. **Memórias**... San José: Corbana, 1994. p. 65-79.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

OLIVEIRA, S. L. Irrigação. In: ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana**: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1997. p. 317-334.

OLIVEIRA, S. L. **Manejo e métodos de irrigação para a bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, 1986. 9 p.

OLIVEIRA, S. L.; ALVES, E. J.; CALDAS, R. C. Evaporação do tanque A e evapotranspiração da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 7, p. 67-73, 1985.

ROBINSON, J. C. **Bananas and plantains**. Wallingford: CAB International, 1996. 256 p. (Crop Production Science in Horticulture, 5).

SANTANA, J. L.; SUAREZ, C. L.; FERERES, E. Evapotranspiration and crop coefficients in banana. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 335, p. 341-348, 1993.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASSOI, L. H.; COSTA, W. P. L. B.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 45-50, 2002.

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

VILLAS BOAS, R. L.; BOARETTO, A. E.; VITTI, G. C. Aspectos da fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1., 1993, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: Potafos, 1994. p. 284-308.

WARNER, R. M.; FOX, R. L. Nitrogen and potassium nutrition of Giant Cavendish banana in Hawaii. **Journal of the American Society Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 102, n. 6, p. 739-743, 1977.

Capítulo 13

Irrigação e fertirrigação na cultura do caju-anão-precoce

Francisco José de Seixas Santos
Vitor Hugo de Oliveira
Lindbergue de Araújo Crisóstomo
Levi de Moura Barros

Introdução

O cajueiro (*Anacardium occidentalis* L.), planta originária da América Tropical, pertence à família *Anacardiaceae*, que inclui árvores e arbustos tropicais e subtropicais, e encontra-se disperso em uma extensa faixa compreendida entre os paralelos 27ºN, no sudeste da Flórida, e 28ºS, na África do Sul (FROTA; PARENTE, 1995).

A região Nordeste, com uma área plantada superior a 650 mil hectares, responde por mais de 95% da produção nacional, e os estados do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte e Bahia são os principais produtores (OLIVEIRA et al., 2002). A expansão da cultura nesses estados ocorreu na segunda metade da década de 1960, em razão, principalmente, das condições climáticas favoráveis, do baixo preço das terras, da maior concentração de indústrias de beneficiamento de castanhas e pedúnculos e da política de incentivos do governo.

O agronegócio do caju destaca-se como uma expressiva fonte geradora de emprego e renda, com 36 mil empregos no campo, 16 mil empregos diretos na indústria processadora e, em média, US$ 140 milhões em exportação por ano.

O consumo do pedúnculo do cajueiro como fruta de mesa (Figura 1) vem aumentando consideravelmente a cada safra, tanto pela abertura de novos mercados, como pela consolidação dos mercados tradicionais. Isso vem ocorrendo principalmente em razão dos novos plantios feitos com cajueiro-anão-precoce, os quais, por apresentarem planta com porte baixo, permitem a colheita manual, com maior aproveitamento e redução de perdas. Além disso, os pedúnculos, que só eram comercializados próximo às áreas de produção, atualmente alcançam mercados em outras partes do País, distantes mais de 4 mil quilômetros do local de origem (PAIVA et al., 1998). A castanha, que ainda é o principal produto comercializado, tem como principais compradores os Estados Unidos e o Canadá.



Figura 1. Caju de mesa embalado para comercialização.

Foto: Vitor Hugo de Oliveira

Embora cultivado, normalmente, em regime de sequeiro, o cajueiro-anão-precoce responde significativamente à irrigação. Sua produtividade pode ultrapassar 4.500 kg ha^{-1} de castanhas no quarto ano de produção (Tabela 1), com um incremento de 1.153% em relação ao cajueiro comum em sequeiro. Além disso, o período de colheita é ampliado para até 10 meses, dependendo das condições climáticas, especialmente da distribuição de chuvas (OLIVEIRA et al., 1997). Atualmente, a área irrigada com cajueiro-anão-precoce no Nordeste brasileiro é estimada em 3 mil hectares, basicamente por meio de sistemas de irrigação localizada.

Tabela 1. Produtividade de castanha (kg ha^{-1}) do cajueiro-anão-precoce em condições de sequeiro e irrigado.

Clone	2º ano		3º ano		4º ano	
	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado
CCP 09	184	273	367	2.194	367	4.601
CCP 76	163	385	306	1.497	307	2.849

Fonte: adaptado de Barros et al. (1993) e Oliveira et al. (1998).

Os clones mais recomendados para o plantio sob irrigação são o CCP 09 e o CCP 76, com características adequadas tanto para a exploração de castanha como de pedúnculo (OLIVEIRA, 1999).

Aspectos fisiológicos da cultura

Caracterização das fases fenológicas da cultura

O cajueiro é considerado planta de crescimento intermitente, caracterizado por apresentar periodicidade que pode manifestar-se em diferentes níveis de intensidade nas fases de crescimento e desenvolvimento. Uma fase de aparente repouso vegetativo evidencia-se de janeiro a abril, coincidindo com o período de maior concentração de chuvas, caracterizada por escassa ou nenhuma emissão foliar. Em seguida, inicia-se o processo de queda de folhas, que ocorre durante todo o ano, acentuando-se de modo significativo logo após o período de chuvas mais intensas. O crescimento vegetativo, que consiste na expansão de internódios com formação simultânea de folhas, inicia-se com grande intensidade logo após a estação chuvosa, coincidindo com o pico de queda de folhas e prolongando-se de forma atenuada durante toda a estação seca (Figura 2) (FROTA; PARENTE, 1995).

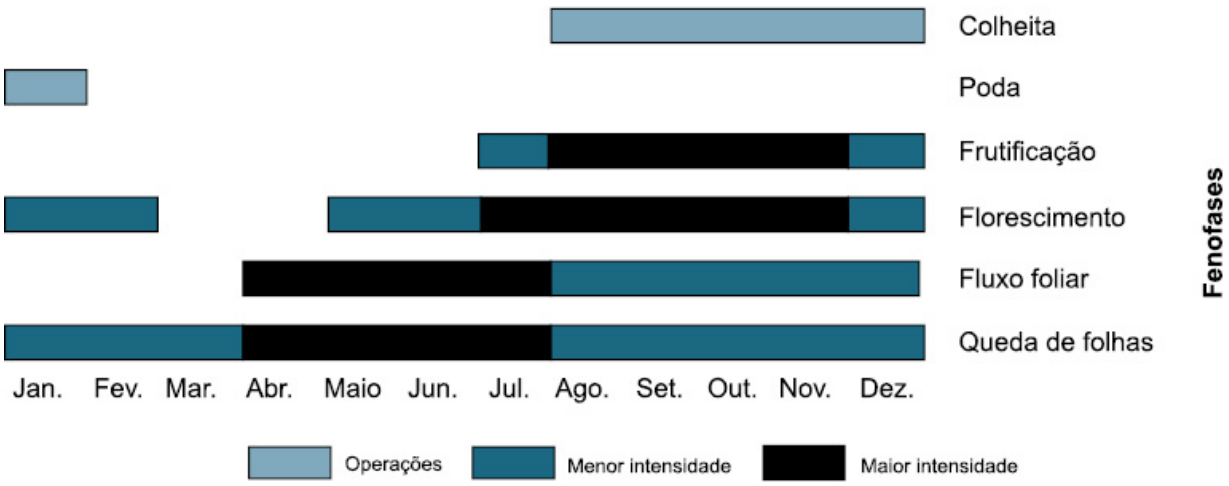


Figura 2. Fenofases do cajueiro-anão-precoce no litoral cearense.

Fonte: adaptado de Frota e Parente (1995).

Diferenças existentes entre variedades, híbridos ou porta-enxerto

A grande variabilidade genética do cajueiro no Brasil vem sendo estudada em dois grupos − o comum e o anão – os quais são definidos basicamente em decorrência do porte da planta.

O cajueiro do tipo comum, ou gigante, é o mais difundido. Apresenta porte elevado, altura entre 8 m e 15 m e envergadura (medida da expansão da copa) que pode atingir até 20 m (Figura 3). A capacidade produtiva individual é muito variável, com plantas que produzem abaixo de 1 kg até próximo de 180 kg de castanha por safra. O tipo anão (Figura 4) tem as seguintes características: porte baixo, altura inferior a 4 m, copa homogênea, diâmetro do caule e envergadura de copa com medidas inferiores às do tipo comum e precocidade etária. Seu florescimento inicia-se entre 6 e 18 meses (BARROS et al., 1998).



Figura 3. Planta de cajueiro do tipo comum.

Foto: Vitor Hugo de Oliveira



Figura 4. Planta de cajueiro do tipo anão-precoce, irrigada por microaspersão.

Foto: Vitor Hugo de Oliveira

Sistema radicular

O sistema radicular de um cajueiro adulto é constituído de uma pivotante, muitas vezes bifurcada, profunda, com inúmeras raízes laterais, cuja maior concentração (91%) verifica-se na profundidade de 15 cm a 32 cm da superfície (FROTA et al., 1991). Em plantas de até 6 anos de idade, Tsakiris e Northwood (1967) encontraram valores que sugeriram um modelo de dois para um na relação entre diâmetro de raízes laterais e diâmetro de projeção da copa, ou seja, o sistema lateral chega, em plantas jovens, a duas vezes a projeção da copa. Em plantas adultas, Frota et al. (1991) verificaram que as raízes laterais chegam a quase 20 m do caule, e, a partir delas, ocorrem lançamentos de raízes verticais.

Com relação à atividade de raízes, Wahid et al. (1989) verificaram que, na profundidade de 15 cm e na distância de 2 m do caule, as raízes são mais efetivas, com 54% e 71,6%, respectivamente. Observaram também que 82% das raízes absorventes em plantas adultas concentram-se nos primeiros 30 cm da superfície do solo, com 72% dessas raízes a uma distância radial de 2 m da planta. Todas essas informações são importantes para o manejo da cultura no que diz respeito ao local e à profundidade de aplicação dos fertilizantes, bem como ao emprego de grade no combate às plantas daninhas.

Cavalcanti Júnior (2000), estudando o sistema radicular do cajueiro-anão-precoce enxertado em tubetes, sacos de plástico e diretamente no campo, sob irrigação, concluiu que, aproximadamente aos 6 meses de idade, a distribuição e a estrutura anatômica das raízes não mais apresentavam diferenças em razão dos recipientes iniciais. Ademais, a irrigação e a adubação ou fertirrigação eram mais eficientes nesse período, se aplicadas a 25 cm de raio em torno da planta.

Clima e solos

A cultura do cajueiro é explorada comercialmente em várias regiões do mundo, onde ocorrem diferentes tipos climáticos, que, de acordo com Köppen, classificam-se em quatro tipos: Am, Aw, Bsh e Bwh, basicamente climas tropicais chuvosos. Esses tipos climáticos têm as seguintes características: temperatura mínima superior a 18 °C, período de seca ou precipitação do mês mais seco inferior a 10% do

total das chuvas do mês mais úmido, que deverá ser inferior a 30 mm. Os principais fatores climáticos que influenciam a exploração econômica do cajueiro são: precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, altitude e, num grau de menor importância, latitude e vento (AGUIAR; COSTA, 2002).

Os principais solos cultivados com cajueiro-anão-precoce são: Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas), Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos, Argissolos Acinzentados (Podzólicos Acinzentados), Argissolos Vermelho-Amarelos (Podzólicos Vermelho-Amarelos) (CRISÓSTOMO et al., 2001).

A maioria dos solos cultivados com o cajueiro tem perfis profundos, intensamente intemperizados, e não apresentam minerais primários de fácil decomposição, os quais, quando presentes, representam uma reserva de nutrientes a serem liberados lentamente para a solução do solo (RAMOS; LIMA, 1995). Esses solos são de baixa fertilidade, apresentam deficiências de vários nutrientes, principalmente fósforo, potássio e cálcio, as quais tendem a crescer com o uso do solo caso não se adotem práticas para a reposição de nutrientes (OLIVEIRA; RAMOS, 1995).

Nos Neossolos Quartzarênicos, o teor de matéria orgânica é baixo. Como consequência, os suprimentos de nitrogênio e enxofre também são baixos. As perdas de nutrientes por lixiviação nesses solos, em geral, são elevadas: N e K > 80%, Ca e Mg > 40% do aplicado (CARVALHO, 1996). Assim, no manejo de fertirrigação, as aplicações de fertilizantes devem ser parceladas para maior eficiência de aproveitamento dos nutrientes.

Os Latossolos, por apresentarem de baixa a muito baixa fertilidade natural, sem a aplicação da calagem e da adubação, são pouco

produtivos. De modo geral, a camada fértil do solo está restrita ao horizonte A por causa da matéria orgânica. Esta, por sua vez, pode facilmente ser perdida por erosão ou por manejo inadequado do solo (CRISÓSTOMO et al., 2001). As perdas de nutrientes (N, K, Ca e Mg), aplicados na forma de fertilizantes em Latossolos dos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, foram avaliadas por Carvalho (1996) e obedeceram à seguinte ordem decrescente: N > K > Ca > Mg. Observou-se também que as maiores perdas ocorreram nos solos com menores conteúdos de argila, o que mostrou a real necessidade da fertirrigação, pois os nutrientes mais utilizados nessa técnica (N e K) são os que apresentam as maiores perdas.

Os Argissolos são caracterizados por perfis profundos, com boas condições de arejamento e drenagem. As características químicas dos Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos são: baixa fertilidade, reação ácida, pequena capacidade de troca de cátions e baixa saturação por bases. A diferença para os Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos é que estes apresentam elevada saturação por bases, não tendo problema com acidez, nem com alumínio trocável, além de conter maior quantidade de cátions trocáveis, que, embora não seja alta, resulta em melhor fertilidade (RAMOS; LIMA, 1995).

Necessidades hídricas da cultura

Entre os métodos de irrigação atualmente em uso, a microirrigação (irrigação localizada) é a mais recomendável para o cajueiro-anão em razão das seguintes vantagens: economia de água (maior

eficiência de irrigação e redução de perdas de água por evaporação), economia de energia (trabalha com vazões e pressões menores), possibilidade de aplicação de fertilizantes via água de irrigação (fertirrigação), redução da ocorrência de plantas daninhas e de doenças foliares e não interferência nas pulverizações, nas capinas e nas colheitas. Como desvantagens, relacionam-se os seguintes aspectos: a necessidade de filtragem da água para evitar o entupimento dos emissores e o custo inicial elevado. Esse maior custo inicial, porém, é recuperado em poucos anos em decorrência do baixo custo de operação do sistema.

O manejo de irrigação na cultura do cajueiro-anão-precoce está relacionado à quantidade e à frequência de aplicação de água, baseado no tipo de solo, na idade da planta, na eficiência do sistema de irrigação e nas condições climáticas.

As necessidades hídricas do cajueiro, quando irrigado por sistemas de microirrigação, podem ser estimadas a partir dos dados climáticos locais, segundo a equação:

$$V = ETo \times Kc \times Kr \times A \quad (1)$$

em que V é o volume de água por planta por dia (L), ETo a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}), Kc o coeficiente de cultivo, Kr o coeficiente de redução da evapotranspiração e A a área ocupada por planta (m^2).

Na Tabela 2, são apresentadas as recomendações para a irrigação (sistemas de microirrigação) do cajueiro-anão-precoce na região litorânea do Nordeste, onde a evapotranspiração de referência média, nos meses secos, é de 4,5 mm dia^{-1} (AGUIAR et al., 2002)

durante as fases de formação (primeiro ano da cultura) e produção (a partir do segundo ano).

Tabela 2. Necessidade hídrica do cajueiro-anão-precoce na região litorânea do Nordeste.

Elementos de irrigação	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	≥ 5º ano
% C. S.[(1)]	5–10	10–25	25–40	40–60	60–65
Kc[(2)]	0,50	0,55	0,55	0,60	0,65
Kr	0,10–0,20	0,20–0,30	0,30–0,50	0,50–0,70	0,76
ETc[(3)]	0,20–0,40	0,50–0,70	0,70–1,10	1,30–1,90	2,22
Vol. (L planta^{-1} dia^{-1})	10–20	23–35	35–53	62–90	109

(1) %C.S. = porcentagem da superfície do solo coberta pela cultura.
(2) Kc ajustados para o cajueiro.
(3) ETc = evapotranspiração da cultura reduzida (mm dia^{-1}).

Alves (1999), trabalhando com a evapotranspiração de referência obtida em razão da evaporação do tanque Classe A, encontrou os seguintes coeficientes de cultura (Kc) para o período de formação de mudas: 0,54 para a fase de germinação de sementes de cajueiro-anão-precoce, 0,81 para a fase de crescimento e desenvolvimento de porta-enxertos e 0,75 para a fase pós-enxertia até o ponto de transplante.

O início da irrigação, após o período chuvoso, se as plantas não estiverem em plena floração, pode ser retardado por cerca de 30 dias após a última chuva superior a 10 mm.

Para cultivos com sistemas de microirrigação, o turno de rega normalmente varia de 1 a 2 dias quando se utilizam o gotejamento e o xique-xique. No caso da microaspersão, o turno de rega para o cajueiro-anão pode variar de 2 a 5 dias, de acordo com o tipo de solo e o diâmetro molhado pelo emissor.

Demanda de nutriente

Entre os fatores que afetam a produtividade das culturas, destaca-se a aplicação de nutrientes e de água, que, quando é realizada de forma conjunta, denomina-se fertirrigação. Ultimamente, esse tipo de aplicação ganhou grande impulso.

A fertirrigação é uma técnica que vem crescendo principalmente por propiciar economia de fertilizantes, redução da mão de obra e melhor uniformidade de distribuição dos nutrientes no solo. Mas, apesar de suas vantagens e do seu crescente uso, o manejo dessa técnica é realizado, na maioria das vezes, de maneira empírica. O conhecimento das quantidades de fertilizantes que devem ser aplicadas para atender satisfatoriamente à nutrição da planta, com o uso da fertirrigação, é de grande interesse principalmente para os agricultores que cultivam em áreas irrigadas ou irrigáveis.

Para que a fertirrigação possa ser realizada com maior eficiência, é necessário conhecer as exigências nutricionais do cajueiro-anão-precoce durante as suas diversas fenofases, pois isso contribui para manutenção ou elevação dos níveis de fertilidade do solo e para o aumento da produtividade das plantas.

Normalmente, o cajueiro apresenta duas fases de crescimento por ano, uma vegetativa e outra reprodutiva, as quais são reguladas tanto pelas características genéticas da planta quanto pelas condições ambientais, razão pela qual podem ocorrer alterações desse padrão normal, como já observado com o cajueiro-anão-precoce sob irrigação.

Estudo de absorção realizado por Ximenes (1995) em mudas de cajueiro-anão-precoce (CP 76) mostra que os cotilédones contêm expressivas reservas de N (54,8%), P (44,90%), S (36,19%), K (17,05%) e Mg (16,37%), em relação às quantidades máximas desses elementos extraídas pela planta. A demanda nutricional das mudas no estádio inicial, segundo o mesmo autor, é suprida pelos cotilédones e pelo sistema radicular.

Teores adequados de nutrientes na folha

A análise foliar deve ser parte de um programa de manejo de nutrientes. A sugestão é que o tecido amostrado seja a maior folha madura do fluxo vegetativo pré-floral. Devem-se coletar quatro folhas por planta em cada hectare. As faixas adequadas de teores de macro e micronutrientes em folhas de cajueiro são indicadas na Tabela 3.

Tabela 3. Estado nutricional de plantas de cajueiro, conforme a concentração de macro e micronutrientes em folhas recém-maduras do cajueiro, em ramos não florais.

Nutriente	Estado nutricional	
	Deficiente	Adequado
Nitrogênio (g kg^{-1})	< 1,4	1,4–1,8
Fósforo (g kg^{-1})	< 0,1	0,12–0,14
Potássio (g kg^{-1})	< 0,68	0,72–1,1
Cálcio (g kg^{-1})	< 0,11	0,24–0,75
Magnésio (g kg^{-1})	< 0,11	0,22–0,31
Enxofre (g kg^{-1})	< 0,08	0,11–0,14

Cobre (mg kg^{-1})	< 7	> 7
Zinco (mg kg^{-1})	< 12	> 20
Manganês (mg kg^{-1})	< 26	91–204
Ferro (mg kg^{-1})	< 92	148–165
Boro (mg kg^{-1})	< 39	56–67

Exportação de nutrientes

A quantidade exportada de nutrientes é função do destino dado à parte aérea. No cajueiro, consideram-se o pedúnculo e a castanha como parte exportada (Tabela 4).

Tabela 4. Quantidades exportadas de macro e micronutrientes por quilograma de fruto completo (castanha + pedúnculo).

Nutriente	Parte do fruto	
	Pedúnculo	Castanha
Macronutriente	Quantidade (g)	
N	7,14	6,76
P	0,66	0,70
K	2,93	3,28
Ca	0,14	0,24
Mg	0,64	0,67
S	0,26	0,27
Micronutriente	Quantidade (mg)	
B	13,39	5,14
Cu	8,51	7,70
Fe	22,94	13,99
Mn	5,90	7,36

Os nutrientes exigidos e exportados pelo cajueiro obedecem às seguintes ordens decrescentes:

Exigência

N > K > Mg > Ca > P > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu

Exportação

N > K > P > Mg > S > Ca > Fe > B > Cu > Mn

Os estudos mostram que os nutrientes mais exigidos pelo cajueiro são o nitrogênio e o potássio, justamente os dois mais utilizados na fertirrigação, o que possibilita um melhor planejamento do manejo da técnica e maior eficiência no uso dos fertilizantes.

Recomendação de adubação

A tendência atual da fertirrigação é a alta frequência de aplicação com pequenas quantidades de fertilizantes, obtendo soluções com baixa concentração.

A aplicação inicial de P, Ca e micronutrientes para o cajueiro-anão-precoce deve ser realizada durante o preparo da cova. A fertirrigação com N e K deve ser iniciada 3 meses após o transplante das mudas no campo, com frequência quinzenal. Do segundo ano em diante, o P deve ser aplicado de maneira convencional, no início da estação das chuvas, enquanto N, K e micronutrientes devem ser aplicados por meio de fertirrigações quinzenais, de janeiro a outubro.

Na Tabela 5, são apresentadas as recomendações de adubação padrão do cajueiro-anão-precoce para as condições dos solos

arenosos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste, com base na análise de solo. As doses obtidas na Tabela 5 deverão ser corrigidas de acordo com a produtividade esperada a cada ano, conforme recomendado na Tabela 6.

Tabela 5. Recomendação padrão de adubação mineral em cajueiro-anão-precoce sob irrigação, para as condições dos solos arenosos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste, com base na análise de solo.

Adubação	N (g planta^{-1})	P resina (mg dm^{-3})(1)			K solo (mmol$_c$ dm^{-3})		
		0 a 12	13 a 30	> 30	0 a 1,5	1,6 a 3,0	> 3,0
		P_2O_5 (g planta^{-1})			K_2O (g planta^{-1})		
Plantio	0	200	150	100	–	–	–
1º ano	60	–	–	–	60	40	20
2º ano	80	200	150	100	100	60	40
3º ano	150	250	200	120	140	100	60
≥ 4º ano	200	300	250	150	180	140	80

(1) Como fonte de P, utilizar superfosfato simples, visando fornecer S às plantas.

Tabela 6. Recomendação adicional de adubação mineral em cajueiro-anão-precoce sob irrigação, para as condições dos solos arenosos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste, com base na produtividade esperada.

Produtividade (kg ha^{-1})	N (kg ha^{-1})	P resina (mg dm^{-3})(1)			K solo (mmol$_c$ dm^{-3})		
		0 a 12	13 a 30	> 30	0 a 1,5	1,6 a 3,0	> 3,0
		P_2O_5(1) (kg ha^{-1})			K_2O (kg ha^{-1})		
< 1.200	100	40	30	20	30	20	20
1.200−3.000	150	60	40	20	60	40	20
> 3.000	200	80	60	40	90	60	40

(1) Como fonte de P, utilizar superfosfato simples, visando fornecer S às plantas.

Referências

AGUIAR, M. de J. N.; COSTA, C. A. R. Exigências climáticas. In: BARROS, L. de M. (Org.). **Caju**: produção: aspectos técnicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. p. 21-25. (Frutas do Brasil, 30).

AGUIAR, M. de J. N.; LIMA, J. B. de; BARRETO JÚNIOR, J. H. C.; CARNEIRO, F. de A.; BADU, F. O. **Dados climatológicos**: estação de Paraipaba, 2001. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 25 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 59).

ALVES, E. F. **Coeficiente de cultura e necessidades hídricas de mudas de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) submetidas a diferentes lâminas de irrigação**. 1999. 65 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceára, Fortaleza.

BARROS, L. de M.; PAIVA, J. R. de; CAVALCANTI, J. J. V. Cajueiro anão precoce. **Biotecnologia**, Piracicaba, v. 2, n. 6, p. 18-21, 1998.

BARROS, L. de M.; PIMENTEL, C. R. M.; CORREA, M. P. F.; MESQUITA, A. L. M. **Recomendações técnicas para a cultura do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1993. 65 p. (EMBRAPA-CNPAT. Circular Técnica, 1).

CARVALHO, M. S. B. de S. **Perdas de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio por lixiviação em alguns solos dos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte cultivados com cajueiro**. 1996. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceára, Fortaleza.

CAVALCANTI JÚNIOR, A. T. **Estudo do desenvolvimento do sistema radicular do cajueiro anão precoce enxertado em campo e em viveiro e sob condições de irrigação**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. (Embrapa Agroindústria Tropical. Relatório Final de Subproduto/SINSEP, 2.0).

CRISÓSTOMO, L. A.; SANTOS, F. J. de S.; OLIVEIRA, V. H.; RAIJ, B. van; BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C. A.; SOARES, I. **Cultivo do cajueiro anão precoce**: aspectos fitotécnicos com ênfase na adubação e na irrigação. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 8 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 10).

FROTA, P. C. E.; BUENO, D. M.; RAMOS, A. D. Estudo exploratório do sistema radicular do cajueiro comum, cultivado sob as condições de solo e clima do litoral cearense - Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 11., 1991, Petrolina. **Programa e Resumo**. Cruz das Almas: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1991.

FROTA, P. C. E.; PARENTE, J. I. G. Clima e fenologia. In: ARAÚJO, J. P. P. de; SILVA, V. V. (Org.) **Cajucultura**: modernas técnicas de produção. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. p. 43-54.

OLIVEIRA, F. N. S.; RAMOS, A. D. Uso e manejo do solo. In: ARAÚJO, J. P. P. de; SILVA, V. V. (Org.) **Cajucultura**: modernas técnicas de produção. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. p. 149-170.

OLIVEIRA, V. H. de. **Caracterização de clones de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) sob diferentes regimes hídricos**. 1999. 94 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceára, Fortaleza.

OLIVEIRA, V. H. de; CRISÓSTOMO, L. A.; MIRANDA, F. R. de; ALMEIDA, J. H. S. de. **Produtividade de clones comerciais de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale L.*) irrigados no município de Mossoró-RN**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1998. 6 p. (EMBRAPA-CNPAT. Comunicado Técnico, 14).

OLIVEIRA, V. H. de; MONTENEGRO, A. A. T.; CARBAJAL, A. C. R.; MESQUITA, A. L. M.; AQUINO, A. R. L. de; FREIRE, F. das C. de O.; OLIVEIRA, F. N. S.; ARAÚJO FILHO, G. C. de; PAIVA, J. R. de; PAZ, J. de S.; PARENTE, J. I. G.; MOSCA, J. L.; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, L. A.; PESSOA, P. F. A. de P.; SILVEIRA, S. S. **Cultivo do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 40 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Sistema de produção, 1).

OLIVEIRA, V. H. de; SANTOS, F. J. de S.; MIRANDA, F. R. de; ALMEIDA, J. H. S. de; SAUNDERS, L. C. U. Avanços de pesquisa em cajucultura irrigada. In: WORKSHOP AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA AGROINDÚSTRIA TROPICAL, 1997, Fortaleza. **Palestras**... Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1997. p. 26-27.

PAIVA, J. R. de; ALVES, R. E.; BARROS, L. de M.; CAVALCANTI, J. J. V.; ALMEIDA, J. H. S. de; MOURA, C. F. H. **Produção e qualidade de pedúnculos de clones de cajueiro anão precoce sob cultivo irrigado**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1998. 5 p. (EMBRAPA-CNPAT. Comunicado Técnico, 19).

RAMOS, A. D.; LIMA, A. A. C. Solos cultivados com cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. de; SILVA, V. V. (Org.) **Cajucultura**: modernas técnicas de produção. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. p. 133-147.

TSAKIRIS, A.; NORTHWOOD, P. J. Cashew nut production in Southern Tanzania: IV The root system of cashew nut tree. **East African Agricultural and Forestry Journal**, Nairobi, KE, v. 33, n. 1, p. 82-87, 1967.

WAHID, P. A.; KAMALAM, N. V.; ASHOKAN, P. K.; VIDYADHARAN, K. K. Root activity pattern of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Laterite soil. **Journal of Plantation Crop**, Kasaragod, v. 17, n. 2, p. 85-89, 1989.

XIMENES, C. H. M. **Adubação mineral de mudas de cajueiro anão precoce cultivadas em diferentes substratos**. 1995. 74 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceára, Fortaleza.

Capítulo 14

Irrigação e fertirrigação na cultura de citros

Eugênio Ferreira Coelho
Maurício Antonio Coelho Filho
Antônia Fonseca de Jesus Magalhães
Áureo Silva de Oliveira

Introdução

Os citros compreendem um dos grupos de fruteiras mais importantes no Brasil, não somente pelo valor nutritivo dos frutos, mas também pelo papel social e econômico que desempenham como produto de exportação, gerando empregos e renda. O Brasil colheu aproximadamente 14,2 milhões de toneladas em 2002 (CITROS, 2002), respondendo por mais de um terço da produção global. A produção de limão, no mesmo período, foi de 454 mil toneladas. A maior parte da produção de citros é consumida internamente, e as exigências fitossanitárias constituem os maiores obstáculos de acesso ao mercado externo.

Em geral, os pomares brasileiros apresentam baixa produtividade em razão de vários fatores. É relevante citar a implantação de pomares em solos de baixa fertilidade e em épocas inadequadas. A esses fatores, somam-se as adubações insuficientes e a deficiência hídrica, decorrente de precipitações aquém do necessário e/ou distribuídas irregularmente durante o ano. Em grande parte do território brasileiro, o volume anual de chuvas é insuficiente para atender as necessidades hídricas das plantas cítricas. A distribuição irregular das chuvas propicia a ocorrência de longos períodos de deficit, submetendo as plantas ao estresse hídrico, o que acaba por determinar

grandes quebras de produção (VIEIRA, 1991). Nesse contexto, a irrigação constitui ferramenta indispensável para manter e incrementar a atual produção.

O uso da irrigação em pomares cítricos traz muitos benefícios. O aumento da produção de frutos em decorrência da irrigação é da ordem de 35% a 75% quando comparado aos pomares não irrigados, o que proporciona ganho econômico extra ao produtor. A irrigação assegura boa florada e pegamento, resultando na produção de frutos de melhor qualidade. Essa melhoria é representada por alterações no aspecto, no tamanho, no peso e na quantidade de óleo na casca. Além disso, proporciona um maior desenvolvimento das plantas, que adquirem superfície foliar, a qual pode ser mais abundante, dependendo das condições do pomar, do manejo da irrigação e da combinação copa/porta-enxerto (BARREDA et al., 1984; COHEN; GOELL, 1988).

Sistemas de irrigação

Na citricultura, utilizam-se todos os métodos de irrigação. Na escolha do método, é necessário levar em conta sua eficiência no que diz respeito à economia de água e energia, sem comprometer a produtividade da cultura.

A irrigação por aspersão tem sido usada tanto como aspersão sobrecopa, incluindo o sistema autopropelido, quanto subcopa. Esse método proporciona 100% de área molhada; portanto, não impõe nenhuma limitação ao pleno desenvolvimento das raízes. No entanto, não apresenta alta eficiência de aplicação, e é necessário estar atento ao período de floração, quando o impacto do jato de água dos aspersores pode provocar queda de flores. A água usada em aspersão sobrecopa deve ser de boa qualidade quanto ao conteúdo de sais. Países como Austrália e Israel abandonaram esse tipo de irrigação em razão dos prejuízos que águas salinas causavam às folhas (SHALHEVET; LEVY, 1990).

Os sistemas de irrigação localizada – gotejamento (superficial e subsuperficial) e microaspersão – têm tido grande aceitação em todo o mundo para irrigação de citros. Entre as vantagens desses métodos, incluem-se os seguintes aspectos: alta eficiência de aplicação, baixa pressão, facilidade de operação e bom controle sobre a aeração do solo. Antes de optar por gotejamento ou microaspersão, o citricultor deve levar em conta fatores de natureza técnica e econômica.

O tipo de solo existente na propriedade é um dos primeiros pontos a serem considerados. Os solos com textura média (francos) ou fina (argilosos) são mais propícios ao gotejamento que os arenosos, pois nestes últimos, em geral, não se desenvolve um volume de solo molhado suficiente para conter todo o sistema radicular, a não ser que seja utilizado um número maior de emissores por planta. A microaspersão adapta-se melhor aos solos arenosos pela maior área molhada que assegura à planta. Os microaspersores podem ser dispostos próximos às plantas ou entre as fileiras de plantas.

Os sistemas de irrigação localizada, diferentemente dos sistemas de irrigação por superfície e por aspersão, não molham toda a superfície do terreno; portanto, um mínimo de área molhada deve ser garantido para que se evitem condições de estresse hídrico às plantas. Esse mínimo é representado pela porcentagem de área média molhada pelo emissor (Pm) em relação à área total da planta. Estudos demonstram que a Pm depende do tipo de solo (textura, estrutura e grau de estratificação do perfil), do tipo de emissor (microaspersor ou gotejador), do número de emissores e das condições climáticas locais (KELLER; BLIESNER, 1990). Segundo esses autores, a definição de um valor mínimo ideal de Pm para uma dada cultura ainda não tem sido alcançada em virtude da multiplicidade dos fatores que influenciam a Pm e a interação entre eles.

Para fins práticos, Keller e Bliesner (1990) recomendaram valores entre 33% e 67% para culturas largamente espaçadas, como os citros. O valor de Pm deve ser maior onde a precipitação é menor. Os autores ainda sugeriram que, em regiões de considerável precipitação, valores de Pm inferiores a 33% são

aceitáveis em solos de textura média a fina, ou seja, solos siltosos a argilosos.

O gotejamento adapta-se muito bem à citricultura pela vantagem de ser permanente, de utilizar pouca mão de obra, além de não molhar toda a superfície do terreno, apresentando eficiência de aplicação de 95% em zonas tropicais, principalmente quando os solos não são arenosos (VIEIRA, 1991). Em pomares cítricos, recomenda-se instalar dois gotejadores por planta após o plantio e pelo menos quatro gotejadores quando as plantas estiverem mais desenvolvidas. Em solos de textura média a arenosa, devem-se instalar de cinco a seis gotejadores por planta (INTRIGLIOLO et al., 1994). Os gotejadores podem ser dispostos em duas linhas laterais por fileira de plantas ou ao redor do tronco (disposição em anel ou rabo de porco) no caso do uso de uma linha lateral por fileira de plantas. Segundo esses autores, o rendimento da laranja ‘Valência’ (*Citrus sinensis* L.) com a utilização de cinco gotejadores por planta, dispostos ao longo da linha lateral, foi maior quando comparado ao uso de três gotejadores por planta. O sistema com cinco gotejadores por planta também foi melhor quando comparado à microaspersão. Germana et al. (1994) avaliaram os efeitos do número e da disposição de gotejadores num pomar cítrico e verificaram que cinco gotejadores dispostos em torno da planta proporcionaram frutos maiores e maior produtividade do que três gotejadores por planta dispostos ao longo da linha lateral.

Os sistemas de microaspersão e gotejamento têm sido avaliados para citros no que diz respeito aos aspectos econômicos, ao rendimento e à qualidade de frutos. Roth et al. (1995) avaliaram a produtividade e a qualidade dos frutos da laranja ‘Valência’ durante 4 anos, após a conversão de sistemas de irrigação por faixa em sistemas de gotejamento, por microaspersão e por aspersão. A fase de adaptação das laranjeiras aos novos sistemas durou 3 anos, durante os quais o crescimento e a produtividade da cultura foram superiores aos obtidos no sistema de irrigação por faixas. Entretanto, no quarto ano, diferenças significativas na produtividade e na qualidade dos frutos não foram observadas. Orphanos e Eliades (1994) também não

encontraram diferenças na produtividade da laranja ‘Valência’ quando irrigada por gotejamento e por microaspersão.

Necessidade hídrica dos citros

Vários estudos em todo o mundo têm procurado definir os requerimentos de água dos citros. Uma cultura estabelecida requer de 1.000 mm (KOO, 1963) a 1.560 mm de água por ano (BAVEL et al., 1967). Nos Estados Unidos, a evapotranspiração da cultura (ETc) anual varia de 900 mm a 1.200 mm (BOMAN, 1996; DOORENBOS; KASSAM, 1984; ERIE et al., 1982). Erie et al. (1982) relataram valores de 1,5 mm dia^{-1} no inverno (dezembro/janeiro) e 4,7 mm dia^{-1} no verão (julho/agosto) para a laranja ‘Navel’ (*Citrus sinensis* L.). Vink et al. (1971) encontraram valores de ETc da laranja que variavam de 3,2 mm dia^{-1} a 4,7 mm dia^{-1} durante todo o período de verão, em regiões de clima temperado.

No que diz respeito ao volume de água por planta, produtividades de frutos consideradas ótimas, ou seja, em torno de 50 t ha^{-1}, podem ser obtidas com irrigação da ordem de 26 m^3 $planta^{-1}$ ano^{-1}. Segundo Boman (1996), o consumo médio de plantas adultas e sadias na Flórida varia de 55 L $planta^{-1}$ dia^{-1} a 110 L $planta^{-1}$ dia^{-1} no inverno e de 110 L $planta^{-1}$ dia^{-1} a 190 L $planta^{-1}$ dia^{-1} na estação seca da primavera. Esses valores são da ordem de 220 L $planta^{-1}$ dia^{-1} a 260 L $planta^{-1}$ dia^{-1} durante os meses quentes e secos do verão. Na Flórida, Plessis (1994) determinou para a laranja ‘Valência’ um consumo de água da ordem de 8.600 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Estudos em lisímetros de drenagem com lençol freático mantido de 0,6 m a 0,9 m de profundidade mostraram que o consumo anual de água da laranja ‘Valência’ variou, conforme o ano, de 11.733 m^3 ha^{-1} a 16.030 m^3 ha^{-1} nas condições climáticas da Flórida (BOMAN, 1994).

À semelhança do que ocorre com as culturas agrícolas em geral, a necessidade de água dos citros varia conforme o estádio fenológico das

plantas (NEWMAN, 1968). Nas fases de brotação, emissão de botões florais, frutificação e no início do desenvolvimento dos frutos, há maior demanda de água. Nesse período, as plantas são muito sensíveis ao deficit hídrico (BOMAN, 1996), e o aumento do tamanho dos frutos está altamente relacionado com a absorção de água. Na fase de maturação e durante a colheita e a semidormência, a demanda hídrica é menor.

Segundo Davis et al. (1985), o período mais crítico vai da brotação de primavera até o fruto atingir 2,5 cm de diâmetro. No período de estabelecimento da cultura, Shalhevet e Levy (1990) citam lâminas de 10, 15, 25, 45 e 65 L planta^{-1} dia^{-1} durante o verão, do primeiro ao quinto ano, respectivamente, para as condições de Israel. Do sexto ano em diante, os autores sugeriram aplicar 100 L planta^{-1} dia^{-1}.

A necessidade hídrica dos citros também varia entre os diferentes materiais existentes (TORRES, 1980). Em geral, *Citrus reticulata* é mais exigente em água que *Citrus sinensis*, e este último mais que *Citrus limon*.

Transpiração da cultura

Em comparação com outras espécies agrícolas, os citros transpiram menos por unidade de área de terreno e têm significativa resistência foliar à difusão de vapor, decorrente das elevadas resistências estomáticas e cuticular (HALL et al., 1975). Entre os fatores ambientais, sob boa disponibilidade hídrica no solo, a umidade relativa do ar é muito importante para o mecanismo estomático e, consequentemente, para a transpiração, visto que os gradientes de pressão de vapor entre folhas e ar (DPV) representam a força motriz para o fluxo de vapor (SYVERTSEN; LLOYD, 1994). Esses autores citam que o mecanismo estomático é efetivo em plantas cítricas, observando-se, de maneira geral, que os estômatos respondem negativamente (diminuindo a sua condutância) com o aumento de DPV, constituindo-se um artifício da planta para a conservação de água em condições adversas e para

permitir o bom desenvolvimento da planta em condições climáticas que variam do úmido ao semiárido. Levy (1980) realizou medidas de transpiração em folhas de limoeiro (*Citrus limon*), em condições de campo no semiárido de Israel, em pomar irrigado, e observou que os estômatos responderam efetivamente às condições de alta demanda evaporativa do ar, mantendo os potenciais da água da folha em níveis elevados (menos estresse hídrico) em plantas submetidas a elevadas temperaturas e condições secas.

A sensibilidade dos estômatos à umidade relativa do ar pode estar associada às elevadas resistências ao transporte de água em plantas cítricas, como sugerido por Kriedemann e Barrs (1981). Observou-se, no entanto, que existe uma tendência de estabilização da transpiração por regulação estomática em uma ampla faixa de gradiente de vapor entre folha e atmosfera (HAAL et al., 1975; LEVY, 1980; LEVY; SYVERTSEN, 1981). Esse mecanismo de controle estomático faz, em alguns casos, que plantas cítricas transpirem similarmente mesmo em condições distintas de demanda atmosférica, como relatado por Levy (1980) para as condições dos estados da Flórida e do Arizona, nos EUA. Shalhevet e Levy (1990) relatam também que o volume de água irrigado em pomares cítricos em Israel é o mesmo, independentemente do fato de o pomar estar na costa úmida ou no deserto.

Segundo Kriedemann e Barrs (1981), as relações hídricas de plantas cítricas são geralmente afetadas pela elevada resistência ao transporte de água pela planta, associada, em parte, à pequena relação entre o sistema radicular e a parte aérea da planta (raiz/copa) e também ao pobre desenvolvimento dos pelos radiculares. Segundo Castle (1978), a relação raiz/copa em plantas cítricas não é constante, variando em razão do desenvolvimento da planta, de sua idade e espécie. Também são fatores determinantes a textura do solo, a sua fertilidade e o clima da região. De maneira geral, observa-se que a relação raiz/copa tende a diminuir com a idade da planta.

Em contraste com a baixa condutividade hidráulica do caule e das raízes, as plantas cítricas possuem elevada superfície foliar por unidade de terreno de projeção da copa, e podem atingir de 9 a 11 dependendo da combinação copa/porta-enxerto (SYVERTSEN et al., 1988). Em condições adversas, esse

contraste certamente faz que a transpiração das plantas exceda a absorção de água pelo sistema radicular, levando a um balanço negativo de água da planta mesmo quando o solo está com água facilmente disponível. Esse fato foi observado por Marin et al. (2001) em árvores adultas da lima ácida ‘Tahiti’, nas condições de Piracicaba, SP, em solo argiloso, em que a transpiração atingiu um valor máximo de 1,31 L m^{-2} de folha dia^{-1}, quando os valores de radiação líquida (Rn) estavam em torno de 16 MJ m^{-2} dia^{-1}, diminuindo acima desse limite. Em pomar jovem da lima ácida ‘Tahiti’, irrigado com quatro gotejadores por planta, também nas condições de Piracicaba, SP, Coelho Filho (2002) não observou esse comportamento. O autor constatou que existe tendência de crescimento da transpiração com o aumento de Rn, mesmo em condições de elevada disponibilidade energética, acima de 16 MJ m^{-2} dia^{-1}, que pode ser explicada pela maior relação raiz/copa em plantas jovens.

Entre as alternativas para a determinação da transpiração de árvores em campo, a técnica lisimétrica é considerada de boa referência; entretanto, ao se trabalhar com árvores de grande porte, ocorre elevada limitação do seu emprego. Segundo Pereira et al. (1997), esses equipamentos contêm apenas uma pequena porção de solo por árvore, e isso perturba o crescimento natural e a absorção de água. As câmaras gasosas, entre elas o porômetro de equilíbrio dinâmico do ponto nulo, são bem-difundidas atualmente; porém, apresentam problemas relacionados à interferência das medidas nas respostas estomáticas, em razão dos distúrbios causados no ambiente aéreo, ao se inserir a folha na câmara de medida, e da representatividade e impossibilidade de automação das leituras (ANGELOCCI, 2001).

Para fins comparativos, a utilização da transpiração padronizada (Tr) pela área foliar (L m^{-2} de folha dia^{-1}) é uma solução adotada, pois reduz a variação causada pelo tamanho das árvores e as variedades, mesmo em estudos localizados em locais distintos. Esse artifício foi utilizado com sucesso em árvores de maçã, por Angelocci e Valancogne (1993) e Braun et al. (2000), e em lima ácida ‘Tahiti’, por Coelho Filho (2002) e Marin et al. (2001).

Como se pode observar pela Figura 1a, a transpiração determinada em plantas da lima ácida ‘Tahiti’ com área foliar entre 0,17 m^2 e 1,1 m^2 sofreu

acréscimos para um mesmo valor de evapotranspiração de referência (ETo) com o aumento da área foliar. Ao se escalonarem as medidas de transpiração (Figura 1b), verificou-se uma tendência de linearização, sendo possível a estimativa de Tr com base em um modelo climatológico, conhecendo-se a área foliar da planta:

$$Tr = K \text{ x } ETo \quad (1)$$

em que K é o coeficiente de ajuste da relação e ETo representa a demanda atmosférica local, que pode ser substituída, por exemplo, por medidas de evaporação do tanque Classe A (ECA).

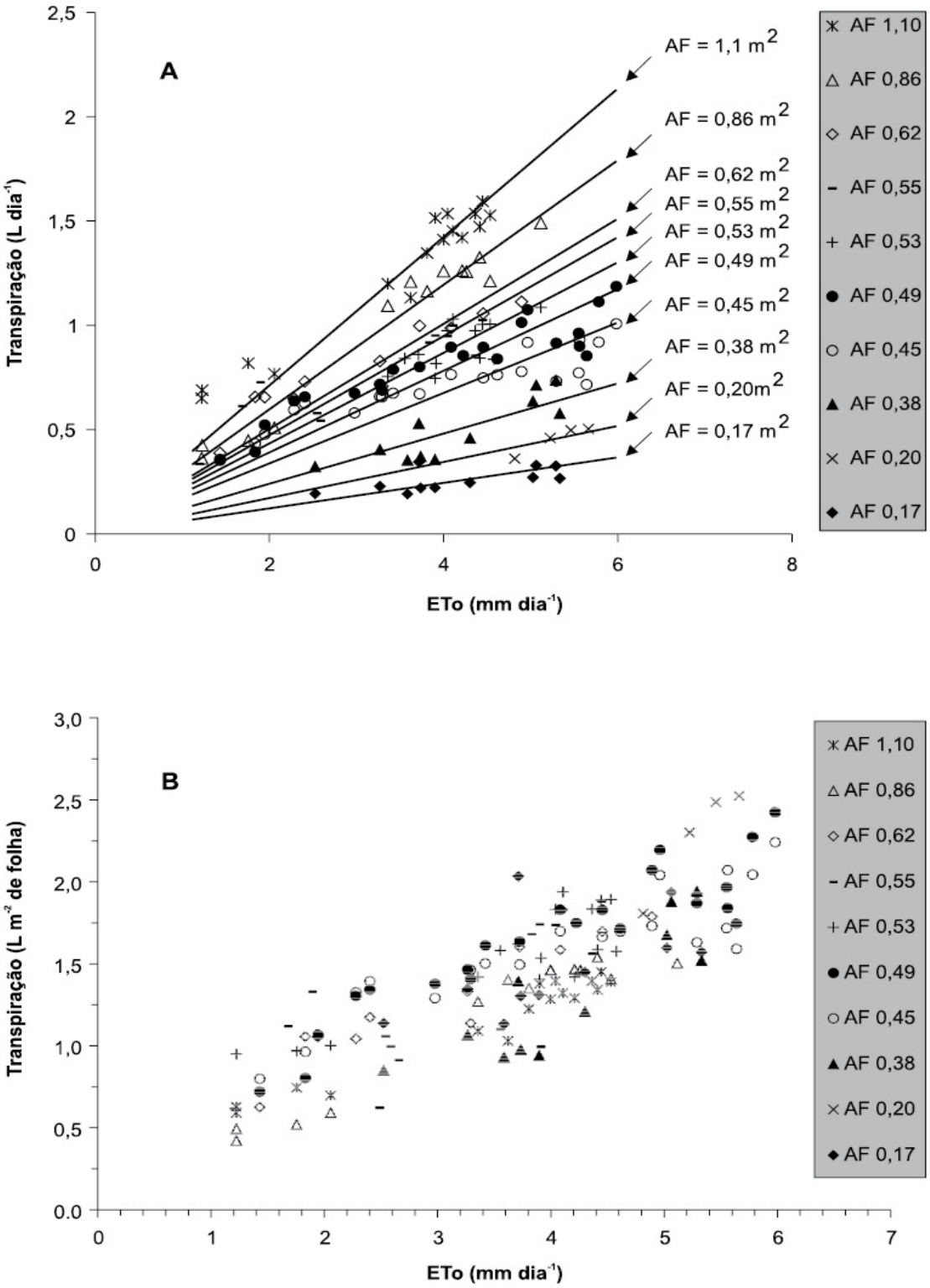


Figura 1. Relação entre transpiração máxima de plantas da lima ácida 'Tahiti', separadas por classes com mesma AFT, e a evapotranspiração de referência segundo Penman-Monteith (ETo) (A); relação entre transpiração máxima por unidade de área foliar (Tr) de plantas da lima ácida 'Tahiti' e a ETo (B).

Fonte: Coelho Filho (2002).

Coelho Filho (2002) e Marin (2000), trabalhando com ampla faixa de demanda atmosférica, encontraram coeficientes de ajuste de 0,34 e 0,25, respectivamente, quando se utilizou a ETo (Penma-Monteith), e 0,27 e 0,21 ao se utilizar a ECA. As relações obtidas com o uso do tanque Classe A são de grande utilidade na prática do manejo de irrigação. Essas diferenças encontradas nos coeficientes de ajuste se devem à idade do pomar. Os coeficientes mais elevados são característicos de plantas jovens. Quanto menor o autossombreamento das folhas, maior a transpiração por unidade de área foliar (Tr).

Quando se comparam as curvas de variação do fluxo de seiva e de radiação líquida (Rn) (Figuras 2 e 3), verifica-se certa defasagem entre ambas, que está relacionada à capacitância dos ramos das plantas (maior nos ramos mais grossos) e é mais pronunciada em plantas adultas. Essa defasagem pode ser explicada pelo fato de que, pela manhã, há uma tendência de o fluxo de seiva não acompanhar a variação da transpiração (HEILMAN; HAN, 1990; SHACKEL et al., 1992; VALANCOGNE; NASR, 1993; WEIBEL; VOS, 1994). Nessa parte do dia, a transpiração tende a acompanhar mais a variação de Rn, cujo processo (transpiratório) ocorre nesse período, parcialmente, às expensas da água armazenada em tecidos. Já no final do dia, quando a transpiração tende a cessar, o fluxo de seiva continua a ocorrer em taxa que tende a repor a água do tecido perdida durante o dia, processo que pode ocorrer também durante parte do período noturno.

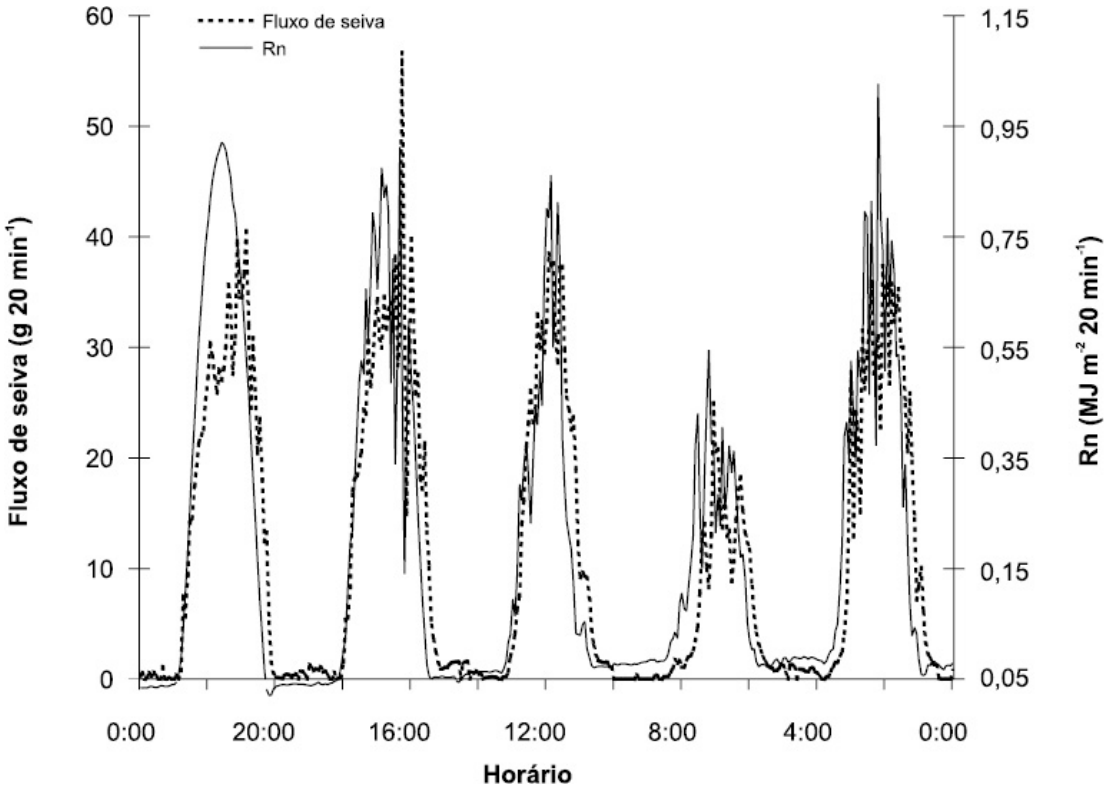


Figura 2. Variação do fluxo de seiva (transpiração máxima) de plantas da lima ácida 'Tahiti' e da radiação líquida determinada no pomar (0,6 m^2 de folha) dos dias julianos 337 a 341 de 2001, Piracicaba, SP.

Fonte: Coelho Filho (2002).

A Figura 3 apresenta o fluxo de seiva de quatro ramos de uma árvore da lima ácida 'Tahiti' em pomar irrigado em Piracicaba, SP. O fluxo de seiva total (transpiração máxima) da planta foi de 171, 130 e 183 L $árvore^{-1}$ dia^{-1} para os dias julianos 253, 254 e 255 do ano 2001, respectivamente. O total transpirado cresceu com o aumento do total de energia disponível no pomar, porém observa-se que, ao se compararem os resultados dos dias julianos 253 e 255, a elevação da transpiração no dia juliano 255 ocorreu em razão do aumento do fluxo de seiva nos ramos 1, 3 e, especialmente, no ramo 4 (folhas com menor exposição), que foi bem superior (40 L) ao observado nos dias anteriores ($\cong$ 10 L). Esse aumento compensou o decréscimo do fluxo de seiva no ramo 2 (111 L), cujas folhas situavam-se na porção superior da copa. O fluxo de seiva total observado no dia juliano 253 foi de 135 L. Esses resultados corroboram os obtidos por Cohen et al. (1997) e Marin et al. (2001), que observaram plantas em níveis energéticos diferenciados

apresentarem o total de fluxo de seiva similar, seja pela redução da condutância estomática em folhas sob elevada disponibilidade energética e aumento da condutância foliar nas sombreadas, compensando a menor disponibilidade energética, seja pela incapacidade de o sistema radicular da planta suprir a tempo a demanda atmosférica.

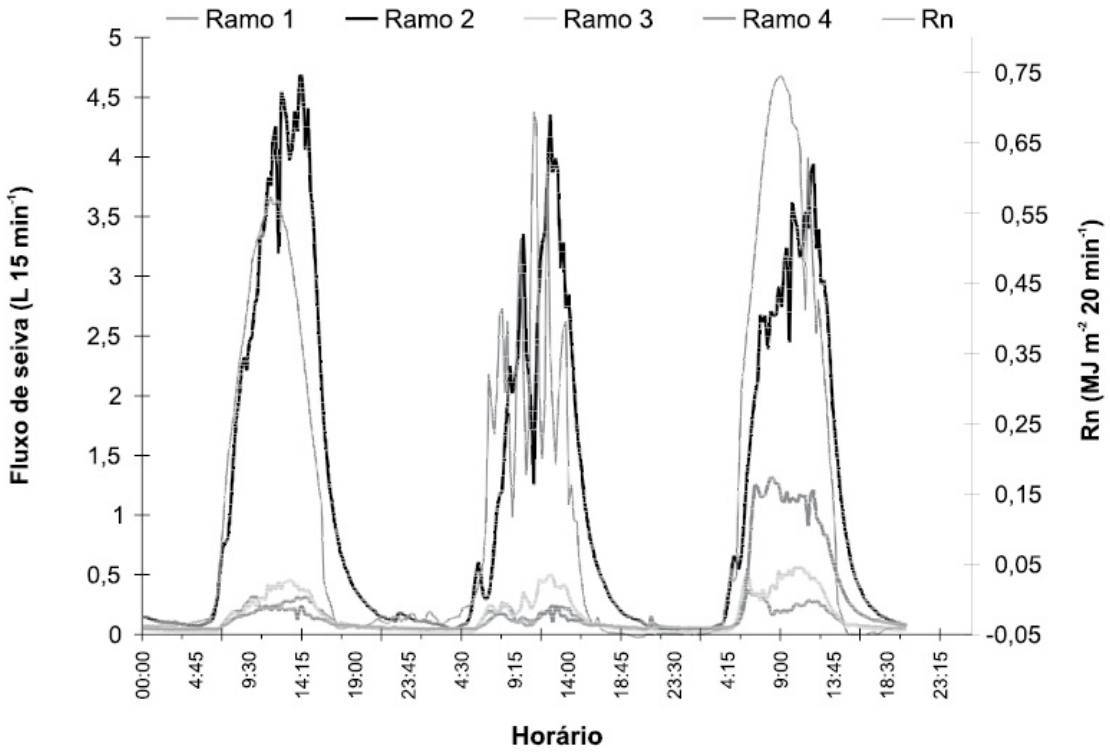


Figura 3. Variação do fluxo de seiva (transpiração máxima) de quatro ramos de uma planta da lima ácida 'Tahiti' adulta (total foliar de 165 m^2) e da radiação líquida sobre o pomar (11,8, 8,44 e 15 MJ m^{-2} dia^{-1}), Piracicaba, SP.

Os valores de *Tr* para os três dias analisados foram de 1,04, 0,79 e 1,11 L m^{-2} de folha dia^{-1} e encontram-se na faixa observada por Marin et al. (2002) no mesmo pomar (Tabela 1). Porém, esses valores apresentaram ligeira queda em se tratando de evapotranspiração de 4,47, 2,86 e 5,16, respectivamente, em cada dia juliano, o que provavelmente está ligado ao maior autossombreamento proporcionado pelo maior volume e densidade foliar da árvore apresentada na Figura 3.

Tabela 1. Evapotranspiração de referência segundo Penman-Monteith (*ETo*) e transpiração (*Tr*) de plantas da lima ácida 'Tahiti' nas condições de Piracicaba, SP. Dados referentes a duas plantas adultas com 64 m^2 e 87 m^2 de área foliar e plantas jovens com área foliar variando de 0,17 m^2 a 1,1 m^2.

Planta adulta		Planta jovem	
ETo mm dia^{-1}	Tr L m^{-2} de folha dia^{-1}	ETo mm dia^{-1}	Tr L m^{-2} de folha dia^{-1}
1,34	0,29	1,23	0,49
1,37	0,74	1,69	1,20
3,62	1,08	2,53	0,85
3,62	0,64	2,98	1,38
4,02	1,38	3,29	1,41
4,10	1,11	3,71	1,62
4,14	1,13	3,90	1,38
4,26	1,23	3,90	1,40
4,63	1,19	3,91	1,54
4,69	1,27	4,04	1,73
4,71	1,22	4,04	1,83
4,88	1,20	4,42	1,34
5,01	1,32	4,53	1,39
5,10	1,14	4,53	1,41
5,17	1,94	4,53	1,89
5,79	1,14	4,58	1,57
5,83	1,02	5,06	1,94
5,92	1,09	5,46	2,49
6,53	1,06	5,98	2,42

Fonte: Coelho Filho (2002) e Marin et al. (2002).

Coeficiente de cultivo

Coeficientes de cultivo para os citros têm sido relatados na literatura especializada (Tabela 2). Castel (1996) determinou experimentalmente valores de *Kc* para laranja irrigada por gotejamento, usando lisímetros de pesagem. A água evaporada diretamente da superfície do solo variou de 8% a 30% da *ETc* nos períodos secos, e de 30% a 50% da *ETc* nos períodos

chuvosos. O Kc variou de acordo com o desenvolvimento da cultura ao longo dos anos e dentro de um mesmo ano. Neste último caso, a variação deu-se em razão do crescimento da cultura a partir da poda feita no início de cada ano. Os valores de Kc variaram de 0,3 a 0,6 e atingiram 0,8 em apenas 4 meses, num período de estudo de 5 anos. O Kc para citros, assim como para outras culturas agrícolas, depende de condições locais, e deve ser obtido mediante pesquisas que envolvem diferentes sistemas de irrigação, condições edafoclimáticas e combinações copa/porta-enxerto. Na falta de dados mais precisos, recomendam-se os valores da Tabela 2, em que os dados da FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1977) referem-se a áreas de poucas chuvas, ventos moderados e grama como cultura de referência.

Tabela 2. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para pomares cítricos.

Fonte	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Castel (A)	0,66	0,65	0,66	0,62	0,55	0,62	0,68	0,79	0,74	0,84	0,73	0,60
FAO (A1)	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70
FAO (A2)	0,90	0,90	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Castel (B)	0,55	0,71	0,54	0,52	0,44	0,53	0,63	0,69	0,68	0,66	0,72	0,79
FAO (B1)	0,65	0,65	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60
FAO (B2)	0,90	0,90	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
FAO (C1)	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,50
FAO (C2)	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95

A = Plantas adultas cobrindo mais de 70% do terreno.
B = Plantas jovens cobrindo 50% do terreno.
C = Plantas jovens cobrindo 20% do terreno.
1 - Plantas em terreno limpo; 2 - Plantas em terreno com mato.
Fonte: adaptado de Castel (1996) e Doorenbos e Pruitt (1977).

Absorção de água pelo sistema radicular sob irrigação

O conhecimento da distribuição estática ou dinâmica do sistema radicular de uma planta constitui uma relevante ferramenta para a determinação da

quantidade de água a ser aplicada no manejo da irrigação. Em se tratando de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão), apenas o conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular não é suficiente para inferir as zonas de absorção de água e nutrientes, uma vez que a geometria de distribuição de água é de caráter multidimensional, diferindo do caráter unidimensional da irrigação por aspersão.

A distribuição do sistema radicular das culturas cítricas é função das características físicas do solo, em especial da textura e estrutura, dos fatores genéticos, do teor de água do solo, que atua na resistência do solo à penetração das raízes e é um dos componentes da distribuição de água/ar e da temperatura do solo (GREGORY, 1987; KLEPPER, 1987).

Em condições de sequeiro, as raízes de plantas cítricas tendem a se concentrar nas camadas iniciais, isto é, entre 0 m e 0,3 m, onde os percentuais do total de raízes amostradas podem ficar entre 52% e 75% (CARVALHO et al., 1999; ZHANG et al., 1996). A avaliação da distribuição de raízes da laranja ‘Pera’ durante 5 anos após o plantio, em solo arenoso, sob condições de sequeiro (COELHO et al., 2002), mostrou que a distribuição de raízes foi, em geral, limitada pela distância horizontal do tronco a 2,0 m e a 1,5 m de profundidade. Os valores máximos de densidade de comprimento de raízes (DCR), superiores a 0,05 cm cm^{-3}, foram observados apenas abaixo do tronco, à profundidade de 0,5 m, com ocorrência de baixos valores de DCR em todo o restante do volume de solo explorado (Figura 4).

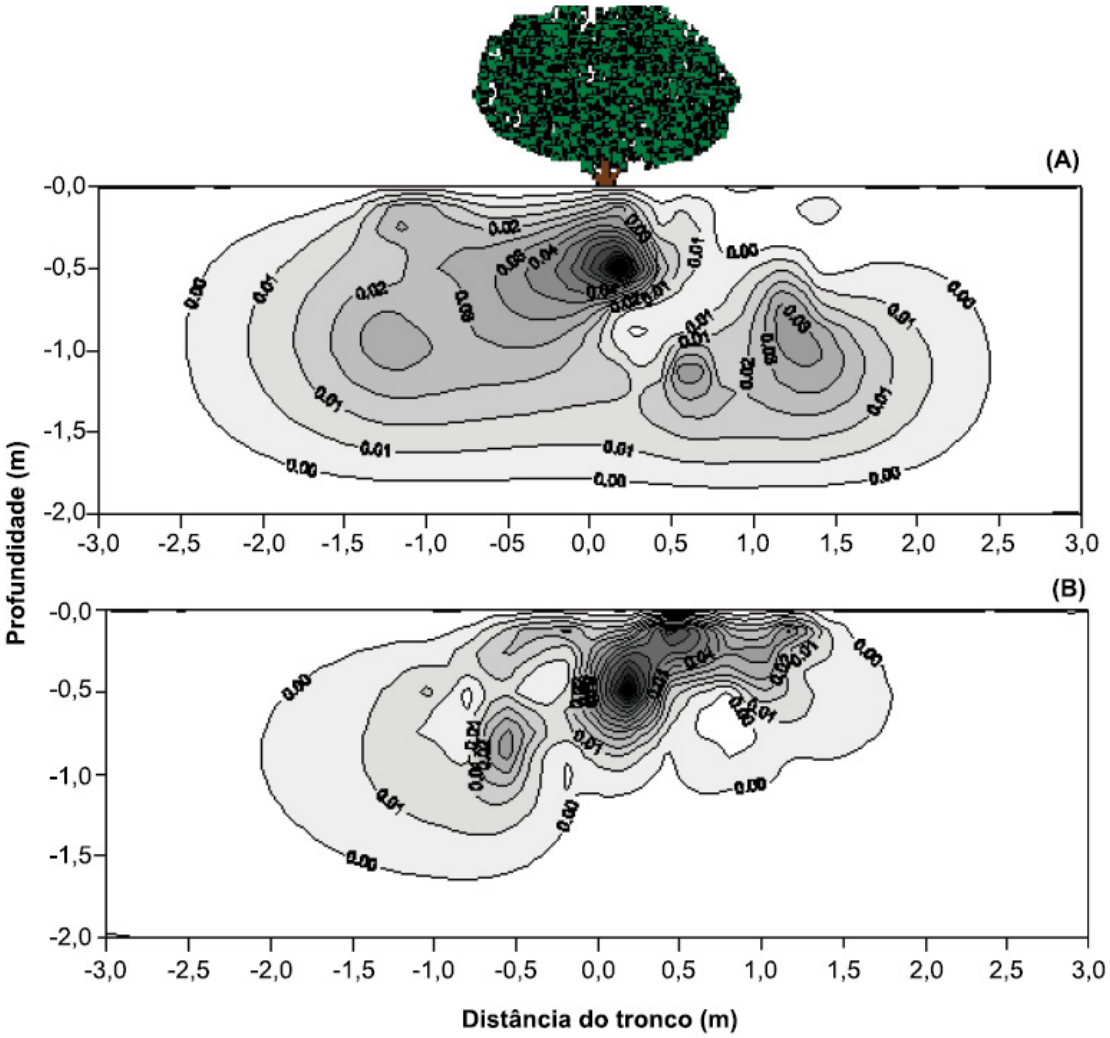


Figura 4. Distribuição de densidade de comprimento de raízes (cm cm^{-3}) em dois perfis: na direção ortogonal à fileira de plantas (A), e na direção longitudinal à fileira de plantas, em condições não irrigadas (B).

Fonte: Coelho et al. (2002).

A distribuição de raízes de laranja em irrigação localizada deve ser observada em duas situações: na irrigação complementar em razão das necessidades hídricas da planta durante períodos de deficit, como é o caso de regiões úmidas e subúmidas, e na irrigação para o suprimento total ou em grande parte do ano das necessidades hídricas da planta, como ocorre nas regiões áridas e semiáridas. A diferença entre os dois casos é que o sistema radicular desenvolve-se muito mais nas condições de irrigação complementar. Coelho et al. (2003) verificaram que, caso haja necessidade de irrigação durante 6 meses do ano, em solo arenoso, a irrigação por microaspersão ocasiona

maior volume de solo explorado, com maior profundidade e expansão lateral das raízes, de forma mais densa, isto é, com maiores valores de DCR em relação à condição não irrigada. Houve concentração significativa de raízes à distância horizontal do tronco inferior a 2,5 m e em profundidades entre 0 m e 1,5 m, com máxima concentração a distâncias horizontais do tronco entre 0,5 m e 2,0 m (Figura 5). Em irrigação por gotejamento, com os gotejadores ao longo da fileira de plantas, distanciados 0,5 m entre si, a região explorada pelas raízes da laranja ‘Pera’ esteve entre 2,5 m e 2,8 m de distância horizontal do tronco e em profundidades de até 2,0 m. Os maiores valores de DCR ocorreram nas profundidades entre 0 m e 1,5 m (Figura 6). Houve maior concentração e uniformidade de raízes na direção da fileira de plantas onde se situaram os emissores (COELHO et al., 2003).

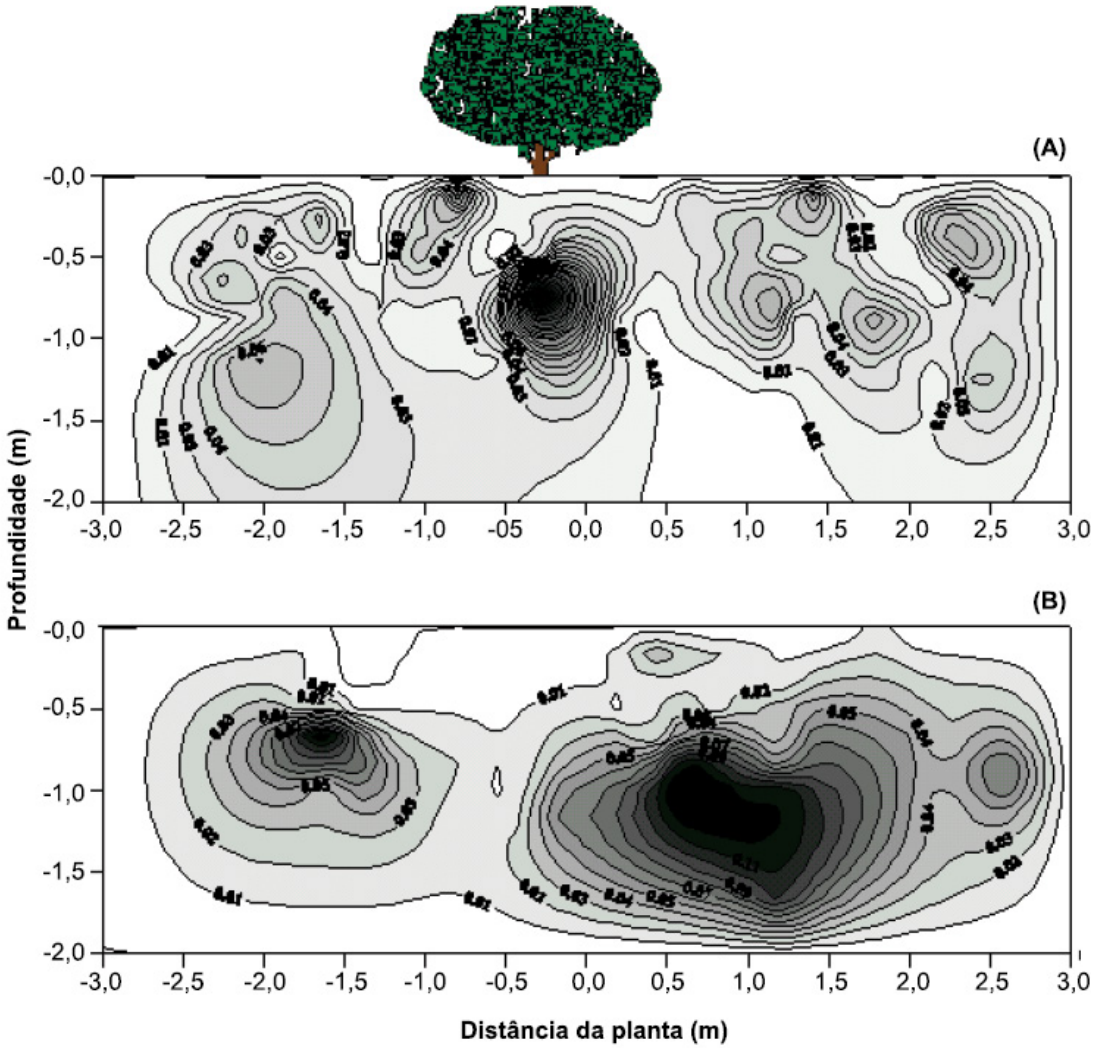


Figura 5. Distribuição de densidade de comprimento de raízes (cm cm^{-3}) em dois perfis: na direção ortogonal à fileira de plantas (A) e na direção longitudinal à fileira de plantas, em sistema de irrigação por microaspersão (B).

Fonte: Coelho et al. (2002).

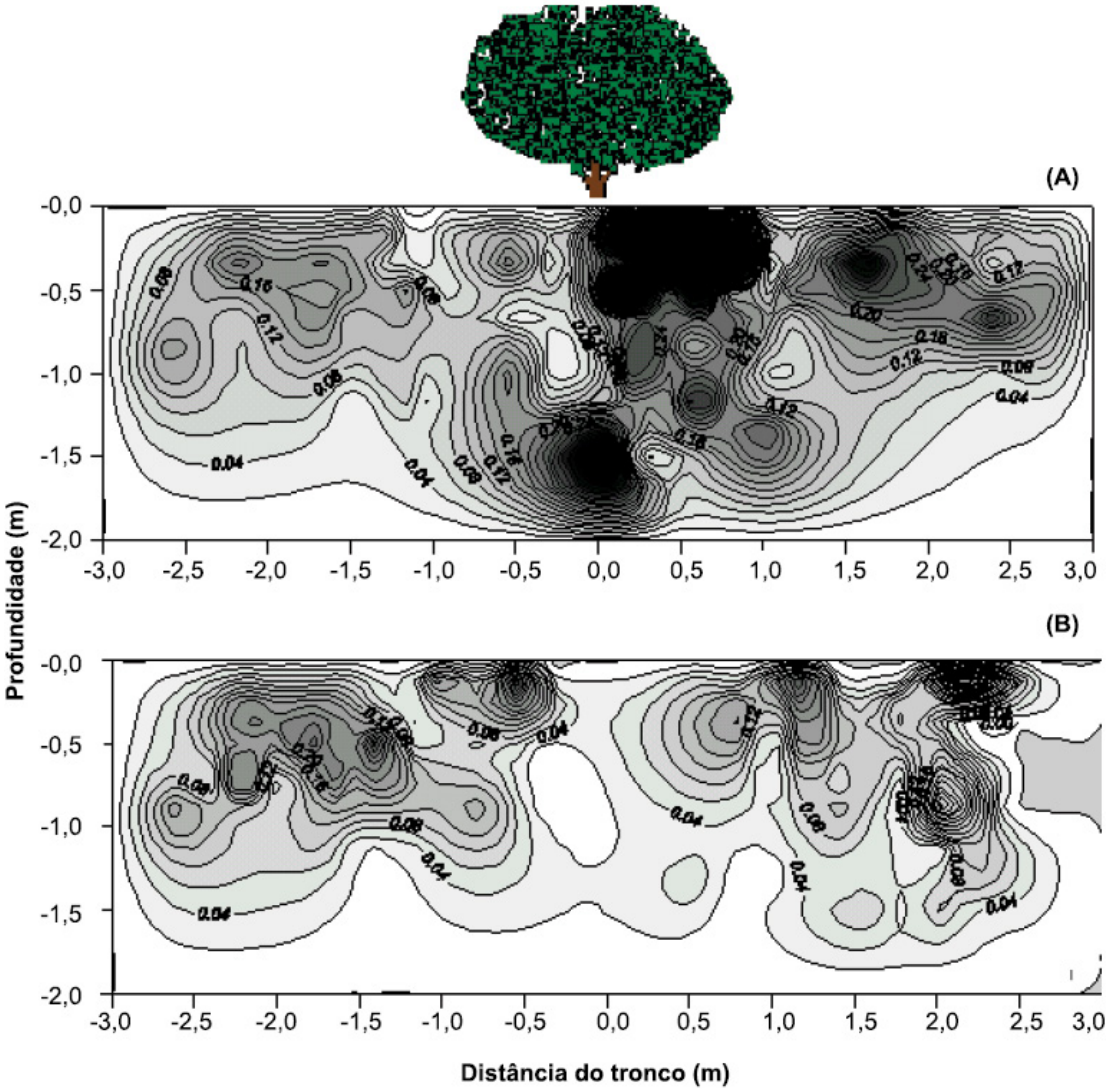


Figura 6. Distribuição de densidade de comprimento de raízes (cm cm^{-3}) em dois perfis: na direção ortogonal à fileira de plantas (A) e na direção longitudinal à fileira de plantas, em sistema de irrigação por gotejamento (B).

Fonte: Coelho et al. (2003).

Com relação à lima ácida ‘Tahiti’, em condições semiáridas de irrigação complementar por microaspersão, Santos (2002) verificou que 83,6% das raízes localizavam-se até a profundidade de 0,5 m, e 85,9% das raízes foram encontradas em uma distância horizontal inferior a 1,5 m da planta (Figura 7).

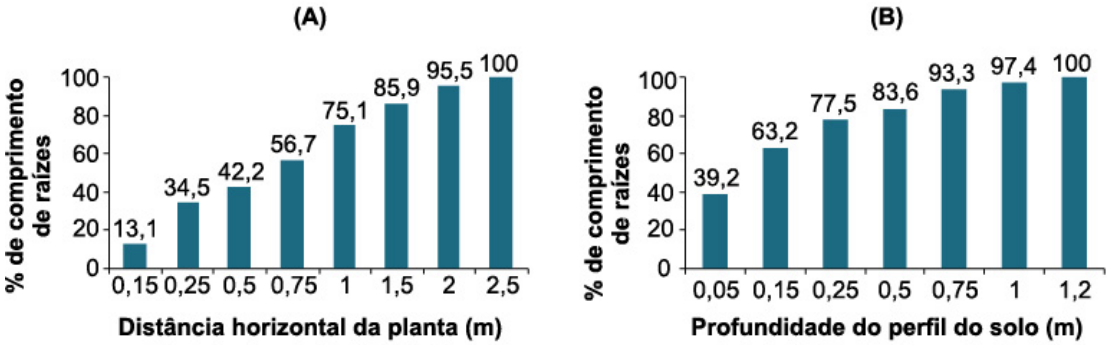


Figura 7. Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ para uma frequência de irrigação de três dias; distância horizontal em relação à planta (A), profundidade do perfil do solo (B).

Fonte: Santos (2002).

As regiões de maior atividade do sistema radicular localizam-se em zonas de maior variação de água do perfil em razão do tempo, ou seja, em locais onde a água está sendo absorvida para suprir a evapotranspiração da cultura. No caso de plantas cítricas, 80% da extração de água ocorre entre 0 cm e 60 cm de profundidade no perfil do solo (DIRKSEN et al., 1979). Segundo Erie et al. (1982), de um consumo médio de 977 mm ano^{-1} no Arizona para a laranja ‘Navel’, 44% foram extraídos da camada de solo de 0 m a 0,30 m, 26% da camada de 30 cm a 60 cm e 15% da camada de 0,60 m a 0,90 m, totalizando 85% de extração de água de 0 m a 0,90 m.

Santos (2002) observou que a absorção de água pelas raízes da lima ácida ‘Tahiti’, sob microaspersão em condições semiáridas, no sentido longitudinal à fileira de plantas, ocorreu a distâncias horizontais da planta inferiores a 1,5 m e em profundidade de até 0,5 m. Para distâncias horizontais da planta inferiores a 0,5 m, a absorção de água pelas raízes foi até a profundidade de 1,1 m. No perfil ortogonal à fileira de plantas, a extração de água pelas raízes localizou-se na região de profundidade de 0 m a 0,5 m e na distância horizontal da planta de 0 m a 1,2 m (Figura 8).

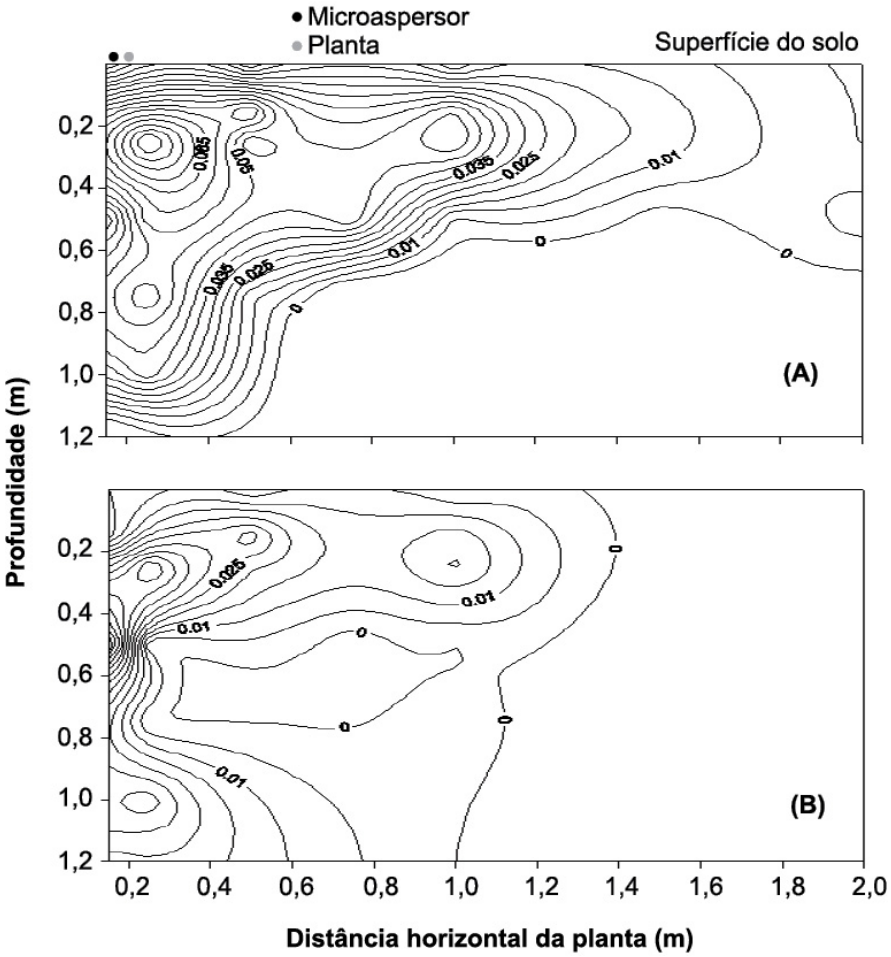


Figura 8. Estimativa da extração de água do solo pelo sistema radicular da lima ácida (m^3 m^{-3}) nas direções longitudinal (A) e ortogonal (B) à fileira de plantas.

Fonte: Coelho et al. (2007).

Manejo da irrigação

No uso do turno de rega calculado, para os citros, Davis et al. (1985) recomendaram valores de *f* de 0,30 a 0,35 durante o período crítico entre a brotação e até que o fruto atinja 2,5 cm de diâmetro. No restante do ano, esse valor pode subir para 0,50, permitindo assim menor frequência na aplicação de água. Doorenbos e Pruitt (1977) sugeriram valor máximo da fração de água disponível (*f*) em torno de 0,50. Os mesmos autores

sugeriram ainda que o valor da profundidade do sistema radicular (*z*) deve estar entre 0,50 m, até o quarto ano do plantio, e 1,10 m a partir do quinto ano. No uso de sensores de água do solo, segundo Cassell e Klute (1986), os potenciais matriciais mantidos entre -15 kPa e -30 kPa a 0,30 m de profundidade proporcionam crescimento adequado à cultura. Por sua vez, valores de -30 kPa a -45 kPa têm sido tomados como limite para a manutenção de teores de umidade adequados à cultura, além dos quais é necessário realizar a irrigação. O crescimento das raízes é reduzido com potenciais matriciais no solo inferiores a -600 kPa.

Um ponto importante a ser observado diz respeito à localização dos sensores no perfil do solo. Como regra, devem-se instalar os sensores no centro de atividade do sistema radicular ou numa região do sistema radicular representativa do cenário geral de extração de água. Assim, os sensores devem ser instalados a distâncias horizontais máximas de 1,50 m do tronco, e em profundidade máxima de 1,10 m. A distância de 0,50 m do tronco e profundidades de 0,25 m e 0,50 m são as posições mais recomendadas para a instalação dos sensores de água do solo.

Fertirrigação

Os efeitos do uso da fertirrigação em citros têm sido relacionados aos diferentes porta-enxertos, às condições edáficas e às diferenças ambientais. Ainda não há consenso entre os trabalhos produzidos a respeito da viabilidade da fertirrigação como tecnologia para o aumento da produtividade dos citros. Diversos trabalhos relatam o aumento da produtividade pelo uso de fertirrigação (ALVA; PARAMASIVAM, 1998; DASBERG et al., 1988; KOO et al., 1974; WILLIS et al., 1991), mas outros não têm mostrado o mesmo efeito (ALVA; MOZAFFARI, 1995; INTRIGLIOLO et al., 1999; TOMLINSON; COETZEE, 1997). Uma justificativa para o insucesso da fertirrigação com nitrogênio em citros, comparada à adubação convencional, é o fato de as plantas absorverem o nitrogênio e o armazenarem como aminoácidos para

serem usados no período seguinte (SWIETLIK, 1992; WILLIS et al., 1991). De qualquer forma, a fertirrigação é aconselhada para citros no caso de já existir o sistema de irrigação implantado, visto que o acréscimo de um injetor de fertilizante e o uso da tecnologia certamente serão, no mínimo, compensados pela economia da mão de obra que seria usada na adubação convencional.

Necessidades nutricionais

Nitrogênio

As plantas cítricas, como as demais culturas, possuem requerimentos nutricionais diferenciados com o tempo, isto é, há uma variação na intensidade de absorção dos nutrientes ao longo do ano. Isso depende basicamente das condições evapotranspirométricas da região, bem como do estádio fenológico da cultura. Em períodos de maior demanda evapotranspirométrica, há maior intensidade de absorção de água e, consequentemente, de nutrientes. Na floração, a demanda por N começa a acentuar-se, e atinge o máximo, no início da frutificação, após a queda das pétalas, reduzindo posteriormente. Em condições de florescimento natural, que ocorre em setembro, com colheita de frutos em março, sugere-se, a princípio, o seguinte parcelamento do N anual: 10% de setembro a outubro, 60% de novembro a janeiro, 20% de fevereiro a março e 10% de abril a maio.

No caso de regiões semiáridas, onde a irrigação deve responder pela maior parte da água consumida pela cultura, pode-se escalonar a produção por meio de reguladores de crescimento, tais como: o uso de produtos químicos (paclobutrazol, cloreto de mepquat, etefon, entre outros) ou com estresse hídrico. Nessas regiões, como em grande parte do Nordeste brasileiro, onde a temperatura é favorável ao crescimento durante praticamente todo o ano, a intensidade de absorção de nutrientes ficará condicionada ao período final do estresse e ao início da irrigação quando se iniciará a floração. Nesse caso, o parcelamento de N pode seguir os mesmos percentuais apresentados

anteriormente, mas com variação nos meses, conforme a época prevista para o estresse.

Do teor total de N utilizado pelas plantas cítricas, apenas 30% do necessário é extraído do solo; os 70% restantes são translocados das raízes e folhas velhas. Trabalhos conduzidos na Espanha, em Israel e nos Estados Unidos permitiram concluir que ótimas produtividades são obtidas, considerando-se a necessidade individual de N do solo por plantas adultas entre 600 g planta^{-1} ano^{-1} e 1.300 g planta^{-1} ano^{-1} (CASTEL, 1987). Nas condições edafoclimáticas do Brasil, os níveis de N encontrados nas pesquisas têm sido bem menores que os encontrados em outros países, o que pode ser em razão das condições de sequeiro ou da irrigação complementar sob as quais os resultados foram obtidos.

Nas condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, com maior abrangência para os Tabuleiros Costeiros, as doses anuais de N podem ser distribuídas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Doses anuais de N (kg ha^{-1}) para citros segundo a idade das plantas.

Espaçamento (m x m)	Período						
	Plantio	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano	≥ 6º ano
8 x 5 ou 7 x 6	20	30	40	50	60	80	100
7 x 4 ou 6 x 5	30	40	60	80	100	120	150
6 x 4	40	60	80	100	120	160	200

Fonte: Magalhães (1997).

Castel (1987) sugeriu que as doses de fertilizante a serem aplicadas até a fase adulta das plantas podem ser também tomadas como uma porcentagem da quantidade máxima aplicada a partir do sexto ano. Assim, aplicam-se 8% dessa quantidade no primeiro ano, 20% no segundo ano, 30% no terceiro ano, 60% no quarto ano, 70% no quinto ano e 100% no sexto ano.

Dasberg et al. (1988) compararam diferentes doses de N aplicadas via água de irrigação e por adubação convencional. Não houve diferença significativa sobre o efeito do N no tamanho e na qualidade dos frutos. A dose de 160 kg de N ha^{-1} via água de irrigação resultou em maiores produtividades, quando

comparada com a mesma quantidade aplicada convencionalmente. Dasberg et al. (1983), ao fazerem avaliação semelhante, observaram também que altas quantidades de N estiveram correlacionadas à casca mais grossa e ao retardamento na coloração dos frutos.

Potássio

No que diz respeito à porcentagem da quantidade máxima recomendada de K no sexto ano, as doses do fertilizante até a idade adulta correspondem a 15% daquela quantidade no primeiro ano, 20% no segundo ano, 35% no terceiro ano, 65% no quarto ano, 85% no quinto ano e 100% no sexto ano (CASTEL, 1987). As doses anuais de potássio ou K_2O para citros, determinadas para o uso convencional, são apresentadas na Tabela 4 para as condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, com maior abrangência para os Tabuleiros Costeiros. Tais quantidades podem, inicialmente, ser usadas via água até que sejam obtidos resultados de pesquisa locais para a condição de fertirrigação.

Tabela 4. Doses de K_2O (kg ha^{-1}) para citros, considerando-se a idade das plantas, teores de K no solo (mg dm^{-3}) e o espaçamento utilizado.

Espaçamento (m x m)	Período K (mg dm^{-3}) - solo												
	Plantio	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano			5º ano			≥ 6º ano		
	< 20	< 20	< 20	< 20	< 6	7–12	13–20	< 20	21–40	41–60	< 20	21–40	41–60
8 x 5 ou 7 x 6	20	30	40	50	60	40	30	70	50	30	80	60	40
7 x 4 ou 6 x 5	30	45	60	70	80	60	45	100	75	45	120	90	60
6 x 4	40	60	80	100	120	80	60	140	100	60	160	120	80

Fonte: Magalhães (1997).

Fósforo

A demanda de P pela planta segue a mesma tendência apresentada por N e K. Uma única aplicação no início da floração pode ser suficiente, não havendo necessidade de outras aplicações durante o ciclo anual. No que se

refere à porcentagem da quantidade máxima recomendada para o sexto ano, as doses do fertilizante até a idade adulta correspondem no primeiro ano a 15% daquela quantidade, 20% no segundo ano, 25% no terceiro ano, 75% no quarto ano, 90% no quinto ano e 100% no sexto ano (CASTEL, 1987).

As Tabelas 5a e 5b sugerem doses anuais de P para os citros com idade de 1 a 6 anos, para as condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, com maior abrangência para os Tabuleiros Costeiros.

Tabela 5A. Doses anuais de P_2O_5 (kg ha^{-1}) de acordo com a idade das plantas, teores de P no solo (mg dm^{-3}) e o espaçamento utilizado.

Espaçamento (m x m)	Plantio P (mg dm^{-3}) - solo			1º ano P (mg dm^{-3}) - solo			2º ano P (mg dm^{-3}) - solo			3º ano P (mg dm^{-3}) - solo		
	< 6	7–12	13–20	< 6	7–12	13–20	< 6	7–12	13–20	< 6	7–12	13–20
8 x 5 ou 7 x 6	15	10	5	20	10	10	25	15	10	25	15	10
7 x 4 ou 6 x 5	25	15	10	30	15	15	40	20	15	40	25	15
6 x 4	30	20	10	40	20	20	50	30	20	50	30	20

Fonte: Magalhães (1997).

Tabela 5B. Doses anuais de P_2O_5 (kg ha^{-1}) de acordo com a idade das plantas, teores de P no solo (mg dm^{-3}) e o espaçamento utilizado.

Período Espaçamento (m x m)	4º ano P (mg dm^{-3}) - solo			5º ano P (mg dm^{-3}) - solo			≥ 6º ano P (mg dm^{-3}) - solo		
	< 6	7–12	13–20	< 6	7–12	13–20	< 6	7–12	13–20
8 x 5 ou 7 x 6	30	20	10	30	20	15	40	30	20
7 x 4 ou 6 x 5	45	30	15	45	30	20	60	45	30
6 x 4	60	40	20	60	40	30	80	60	40

Fonte: Magalhães (1997).

Manejo da fertirrigação

A dinâmica de absorção e do uso dos nutrientes pelas plantas cítricas provavelmente não é tão acelerada a ponto de demandar intensa e contínua absorção de nutrientes, mesmo em condições irrigadas. As quantidades de

nitrogênio, potássio e fósforo requeridas no período de um ano não são elevadas. Dessa forma, não há necessidade de altas frequências de fertirrigação, como ocorre em culturas de ciclo curto. A frequência de fertirrigação para culturas cítricas pode ser, a princípio, de 15 dias nas épocas de maior demanda, isto é, nos 3 meses subsequentes ao florescimento, e acima de 20 a 30 dias nos demais períodos. Deve-se ater para a concentração da água de irrigação na saída dos emissores, de forma que os valores de concentração não sejam excessivos, evitando-se danos ao sistema e ao solo em médio e em longo prazo. O uso de extratores de solução é aconselhável para que se avaliem os efeitos das fertirrigações no ambiente solo, principalmente dos fatores químicos condutividade elétrica e pH. Os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação devem estar abaixo de 1,4 dS m^{-1} para que o desenvolvimento das plantas cítricas não seja afetado. O uso contínuo de água de irrigação com concentração próxima de 1,3 dS m^{-1} provocará problemas de salinidade do solo.

Referências

ALVA, A. K.; MOZAFFARI, M. Nitrate leaching in a deep sandy soil as influenced by dry broadcast or fertigation of nitrogen for citrus production. In: DAHLIA GREIDINGER INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FERTIGATION, 1., 1995, Haifa. **Anais**... Haifa: Technion, 1995. p. 67-77.

ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 5, p. 1335-1342, 1998.

ANGELOCCI, L. R. **Métodos e técnicas de estudo das relações água-planta-atmosfera**. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas-ESALQ-USP, 2001. 104 p.

ANGELOCCI, L. R.; VALANCOGNE, C. Leaf area and water flux in apple trees. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 67, n. 2, p. 299-307, 1993.

BARREDA, F. G.; LEGAZ, F.; PRIMO, E.; LORENZO, E.; IBAÑEZ, R.; TORRES, V. Irrigation of young W. navel cv. Frost Trees. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 5., 1984, São Paulo. **Proceedings**… [S.l.]: International Society of Citriculture, 1984. v. 1, p. 121-124.

BAVEL, C. H. van; NEWMAN, M.; HILGEMAN, R. H. Climate and estimated water use by na orange orchard. **Agricultural Meteorology**, Tokyo, JP, v. 4, p. 27-37, 1967.

BOMAN, B. Citrus: understanding its irrigation requeriments. **Irrigation Journal**, Encino, v. 16, n. 2, p. 8-11, 1996.

BOMAN, R. J. Evapotranspiration by young Florida Flatwoods citrus trees. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 120, n. 1, p. 80-88, 1994.

BRAUN, P.; MAURER, B.; HEINEMANN, G. Scaling transpiration in apple orchards: meteorological versus plant based physiological measurements. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 537, p. 45-51, 2000.

CARVALHO, J. E. B.; SOUZA, L. S.; JORGE, L. A. C.; RAMOS, W.; NETO, A. O. C.; ARAÚJO, A. M. A.; LOPES, L.; JESUS, M. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja Pêra. **Revista Brasileira de Fruticultura Tropical**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 140-145, 1999.

CASSELL, D. K.; KLUTE, A. Water potential: tensiometry. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 563-596.

CASTEL, J. R. Evapotranspiration of a drip-irrigated Clementine citrus tree in a weighing lysimeter. In: CHARTOZULAKIS, K. S.; ANGELAKIS, A. N. (Ed.). **Proceedings of the Second International Symposium on Irrigation and Horticultural Crops**. Chania: ISHS, 1996. v. 1, p. 91-98.

CASTEL, J. R. Programacion del riego localizado y fertirrigacion en citricos y frutales de hueso. **Levante Agrícola**, Valencia, n. 273, p. 19-27, 1987.

CASTLE, W. S. Citrus root systems: their structure, function, growth, and relationship to tree performance. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, Sidney, 1978. **Proceedings**… Sidney: International Society of Citriculture, 1978. p. 62-69.

CITROS. In: AGRIANUAL 2002: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2002. p. 315-316.

COELHO FILHO, M. A. **Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida 'Tahiti' (Citrus latifólia Tan.) e sua relação com a evapotranspiração de referência**. 2002. 91 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L. Distribuição de raízes de laranja Pêra sob sequeiro e irrigação por micropaspersão em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 5, p. 603-611, 2002

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L. Sistema radicular da laranja 'pêra' não-irrigada e irrigada por gotejamento em solo arenoso dos tabuleiros costeiros. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 15, n. 1, p. 45-53, 2003.

COELHO, E. F.; SANTOS, D. B. dos; AZEVEDO, C. A. V. de. Sensor placement for soil water monitoring in lemom irrigated by microsprinkler. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 46-52, 2007.

COHEN, A.; GOELL, A. Using the 'graduated irrigation' experimental mode for determining optimal irrigation requirements of citrus trees. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 6., 1988, Tel Aviv. **Proceedings**… Weikersheim: Margraf, 1988. p. 753-761.

COHEN, S.; MORESHET, S.; GUILLOU, L. L.; SIMON, J. C.; COHEN, M. Response of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. **Journal of Experimental Botany**, London, GB, v. 48, n. 306, p. 35-44, 1997.

DASBERG, S.; BAR-AKIVA, A.; SPAZISK, S.; COHEN, A. Fertigation versus broadcasting in an orange grove. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 15, p. 147-154, 1988.

DASBERG, S.; BIELORAI, H.; ERNER, J. Nitrogen fertigation of shamouti oranges. **Plant and Soil**, The Hague, v. 75, p. 41-49, 1983.

DAVIS, R. M.; JACKSON, L. K.; BULGER, J. M. Citrus basic: irrigation and drainage. **Citrus Industry**, Bartow, v. 8, n. 66, p. 20-46, 1985.

DIRKSEN, C.; OSTER, J. D.; RAATS, P. A. C. Water and salt transport water uptake and leaf water potentials during regular and suspend high frequency irrigation of citrus. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, NL, v. 2, p. 241-256, 1979.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1984. 306 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome, IT: FAO, 1977. 144 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

ERIE, E. J.; FRENCH, O. F.; HARRIS, K. **Consumptive use of water by major crops in the Southwestern United States**. [Washington, DC]: United States Department of Agriculture, 1982. 42 p. (USA. Conservation Research Report, 29).

GERMANA, C.; INTRIGLIOLO, F.; CONIGLIONE, L. Experiences with drip irrigation in orange trees. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 7., 1992, Acireale. **Proceedings**... Acireale: International Society of Citriculture, 1994. v. 2, p. 661-664.

GREGORY, P. J. Development and growth of root systems in plant comunities. In: GREGORY, P. J.; LAKE, J. V.; ROSE, D. A. **Root development and function**. New York: Cambridge University Press, 1987. p. 146-166.

HALL, A. E.; CAMACHO-B, S. E.; KAUFMANN, M. R. Regulation of water loss by citrus leaves. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, DK, v. 33, n. 1, p. 62-65, 1975.

HEILMAN, J. L.; HAN, J. M. Measurement of mass flow rate of sap in *Ligustrum japonicum*. **Hortscience**, Alexandria, v. 25, n. 4, p. 465-467, 1990.

INTRIGLIOLO, F.; CONIGLIONE, L.; GERMANA, C. Effect of fertigation on some physiological parameters in orange trees. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 7., 1992, Acireale. **Proceedings**... Acireale: International Society of Citriculture, 1994. v. 2, p. 584-589.

INTRIGLIOLO, F.; ROCCUZZO, G. Evaluation of different fertilization strategies on orange. In: ANAC, D.; MARTIN-PREVEL, P. **Improved crop quality by nutrient management**. Dordrecht: Boston Klumer Academic Publishers, 1999. p. 23-26.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinholds, 1990. 650 p.

KLEPPER, B. Origin, branching and distribution of root systems. In: GREGORY, P. J.; LAKE, J. V.; ROSE, D. A. **Root development and function**. New York: Cambridge University Press, 1987. p. 103-124.

KOO, R. C. J. Effects of frequency of irrigation on yield of orange and grapefruit. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 76, p. 1-5, 1963.

KOO, R. C. J.; YOUNG, T. W.; REESE, R. L.; KESTERTON, J. W. Effects of nitrogen, potassium and irrigation on yield and quality of lemon. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 99, n. 4, p. 289-291, 1974.

KRIEDEMANN, P. E.; BARRS, H. D. Citrus orchards. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. London, GB: Academic, 1981. v. 6, p. 325-417.

LEVY, Y. Effect of evaporative demand on water relations of *Citrus limon*. **Annual Botany**, Oxford, v. 46, p. 695-700, 1980.

LEVY, Y.; SYVERTSEN, J. P. Water relations of citrus in climates with different evaporative demands. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 4., 1981, Tokyo, JP. **Proceedings**… Tokyo, JP: International Society of Citriculture, 1981. v. 2, p. 501-503.

MAGALHÃES, A. F. de J. **Citros**: nutrição e adubação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 1997. 37 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical-CNPMF. Circular técnica, 28).

MARIN, F. R. **Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de lima ácida 'Tahiti'**. 2000. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C. Sap flow and evapotranspiration in an irrigated citrus orchard. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 219-226, 2001.

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 17, n. 2, p. 219-228, 2002.

NEWMAN, J. E. Estimating water needs of citrus orchards. **Citrus Industry**, Bartow, v. 49, n. 1, p. 19-24, 1968.

ORPHANOS, P. I.; ELIADES, G. Nitrogen fertigation of Valencia orange irrigated by drip or minisprinkler. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 365, p. 105-120, 1994.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PLESSIS, S. F. Comparison of evaporation pan and tensiometers as methods of irrigation scheduling of citrus. **Citrus Journal**, Ahmedabad, v. 4, n. 4, p. 24-25, 1994.

ROTH, R. L.; SANCHEZ, C. A.; GARDNER, B. R. Growth and yield of mature 'Valencia' oranges converted to pressurized irrigation systems. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 11, n. 1, p. 101-105, 1995.

SANTOS, D. F. **Extração de água pela cultura do limão 'Tahiti'com porta-enxerto citrumelo 'Swingle'sob microaspersão nas condições semi-áridas da Bahia**. 2002. 112 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SHACKEL, K. A.; JOHNSON, R. S.; MEDAWAR, C. K. Substantial errors in estimates of sap flow using the heat balance technique on wood stems under field conditions. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 117, n. 2, p. 351-356, 1992.

SHALHEVET, J.; LEVY, Y. Citrus trees. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: Amer Society of Agronomy, 1990. p. 951-986.

SWIETLIK, D. Yield, growth and mineral nutrition of young 'Ray Ruby' grapefruit trees under trickle and flood irrigation and various nitrogen rates. **Journal of the American Society for Horticultural**

Sciences, Mount Vernon, v. 117, n. 1, p. 22-27, 1992.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC, 1994. v. 2, p. 65-101.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J.; KRIEDEMANN, P. E. Salinity and drought stress effects on foliar ion concentration, water relations and photosythetic characteristics of orchard citrus. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 39, n. 4, p. 619-627, 1988.

TOMLINSON, I. R.; COETZEE, K. Can fertigation influence fruit quality? **Neltropika Bulletin**, Nelspruit, n. 296, p. 7-9, 1997.

TORRES, A. Influencia de la humedad del suelo y la fertilización sobre el régimen hídrico de las posturas cítricas. **Agrotécnica de Cuba**, v. 12, n. 1, p. 11-18, 1980.

VALANCOGNE, C.; NASR, Z. A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. **Water transport in plants under climatic stress**.

Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 166-173.

VIEIRA, D. G. Irrigação de citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A. A. **Citricultura brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. p. 519-541.

VINK, N.; ABOUKHALED, A.; SARRAF, S. Measured and estimated water use by a citrus and apple orchard. **Economic Rural**, Libanaise, v. 36, p. 62-82, 1971.

WEIBEL, F. P.; VOS, J. A. de. Transpiration measurements on apple trees with na improved stem heat balance method. **Plant and Soil**, The Hague, v. 166, n. 2, p. 203-219, 1994.

WILLIS, L. E.; DAVIES, F. S.; GRAETZ, D. A. Fertigation and growth of young Hamlin orange trees in Florida. **HortScience**, Alexandria, v. 26, p. 106-109, 1991.

ZHANG, M.; ALVA, A. K.; LI, Y. C.; CALVERT, D. V. Root distribution of grapefruit trees under dry granular broadcast vs. fertigation method. **Plant and Soil**, The Hague, v. 183, n. 1, p. 79-84, 1996.

Capítulo 15

Irrigação e fertirrigação na cultura do mamão

Eugênio Ferreira Coelho
Arlene Maria Gomes de Oliveira
José Geraldo Ferreira da Silva
Maurício Antonio Coelho Filho
Jailson Lopes Cruz

Introdução

A irrigação tem como função principal corrigir o deficit hídrico do solo, permitindo à planta manter um contínuo fluxo de água e nutrientes do solo para as raízes e parte aérea, favorecendo os processos de crescimento, desenvolvimento, floração e frutificação, o que pode se converter em aumento de produtividade e melhoria da qualidade da fruta.

O mamoeiro é muito exigente em água, sem, no entanto, tolerar o excesso hídrico. Dessa forma, em regiões onde ocorrem deficit hídricos do solo prolongados, a cultura não apresenta rendimentos satisfatórios, tornando-se obrigatório o uso da irrigação. O efeito do deficit hídrico é ainda mais grave quando o pomar é implantado em solos de textura arenosa e rasos.

Os constantes incrementos na instalação de sistemas de irrigação, associados às vantagens da fertirrigação, têm resultado em aumento contínuo das áreas de mamoeiro fertirrigadas no Brasil.

A adoção da tecnologia de irrigação e de fertirrigação para a cultura do mamoeiro deve ser respaldada por recomendações adequadas de manejo de água e nutrientes, que permitam o seu uso racional e resultem em alta produtividade física e econômica da cultura, sem agressão ao meio ambiente.

Este capítulo objetiva disponibilizar informações sobre as relações solo-água-planta-atmosfera e guias para o manejo da irrigação e da fertirrigação na cultura do mamoeiro em diferentes condições edafoclimáticas.

Crescimento do mamoeiro sob irrigação

O mamoeiro é uma planta exigente em água principalmente na fase do florescimento, quando a ocorrência de uma semana ou mais de deficiência hídrica pode resultar em queda de flores. As plantas adultas são mais tolerantes ao deficit de umidade embora não produzam o máximo nessas condições. O estresse hídrico leva a uma clorose das folhas mais velhas com subsequente queda das mesmas (MARLER et al., 1994), não havendo, entretanto, interrupção da emissão foliar.

O nível de umidade do solo é um fator fundamental para o crescimento e desenvolvimento da planta, já que quase todos os

processos fisiológicos são direta ou indiretamente afetados pelo suprimento hídrico.

A área foliar, o diâmetro do caule e a altura são variáveis relacionadas ao crescimento das plantas e são indicativos da produtividade da cultura. O efeito da irrigação nos parâmetros de crescimento depende da região onde é cultivado o mamoeiro. Nas condições edafoclimáticas em que a irrigação é necessária apenas em pequenos períodos de deficit hídrico no solo, seu efeito é inferior ao observado em regiões semiáridas, onde a irrigação é imprescindível para o cultivo dessa fruteira.

As taxas de alongamento do caule e das folhas do mamoeiro são afetadas pelo deficit hídrico principalmente na fase vegetativa entre 7 e 11 semanas após o transplantio. O diâmetro do caule, a projeção da copa e o número de folhas por planta também são significativamente reduzidos com o deficit hídrico do solo (AIYELAAGBE et al., 1986; AWADA et al., 1979; SRINIVAS, 1996).

O diâmetro do caule e a área foliar são os parâmetros de crescimento do mamoeiro de maior sensibilidade em resposta aos níveis de água no solo (Figura 1). Resultados experimentais mostram que a área foliar de plantas de mamão nas condições dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano apresenta um crescimento contínuo até 370 dias após o plantio, quando começa a reduzir-se. Com relação ao diâmetro do caule, há manutenção do crescimento contínuo até 24 meses após o plantio, quando ocorre a estabilização; no entanto, a taxa de aumento da superfície foliar é superior à observada para o diâmetro do caule até os 12 meses após o plantio (Figura 1). Em condições de climas úmidos e subúmidos, o mamoeiro cultivado sob irrigação tem um crescimento

do diâmetro do caule contínuo e acelerado até 483 dias após o plantio (Figura 1), quando há uma redução da taxa de crescimento, havendo uma estabilização definitiva a partir de 595 dias após o plantio (COELHO et al., 2002a, 2002b).

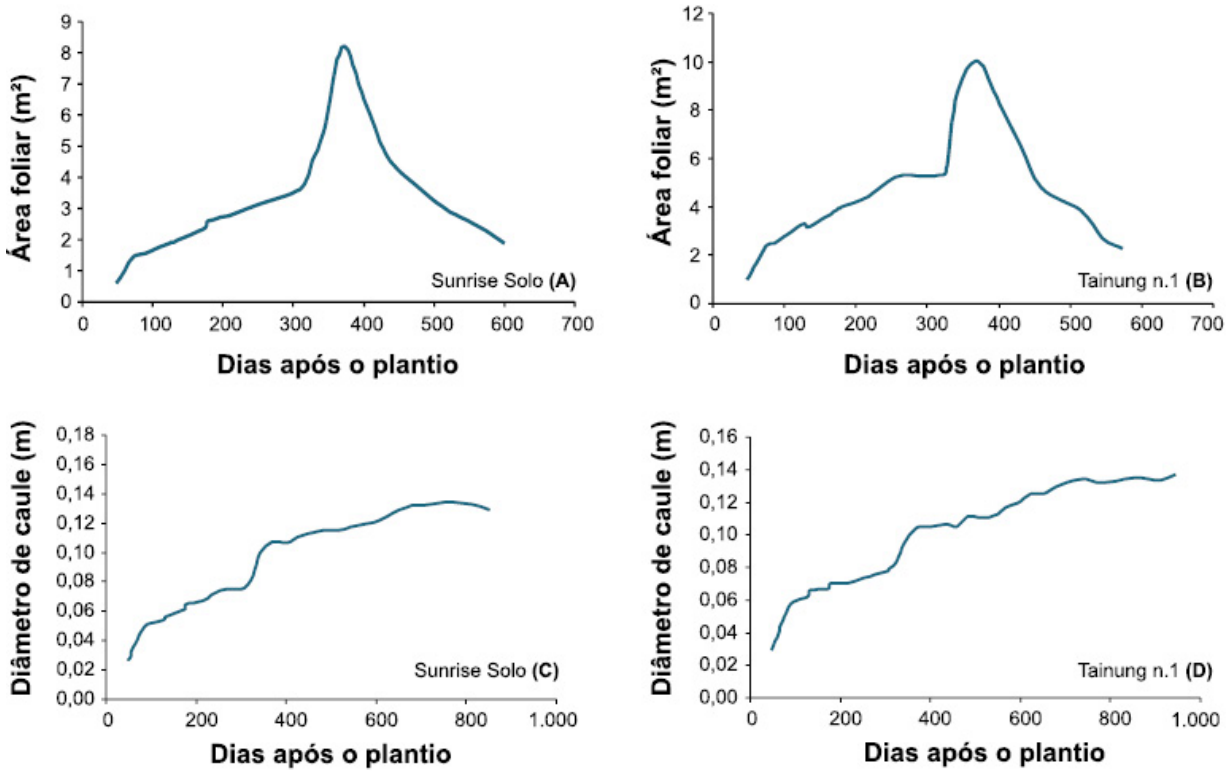


Figura 1. Área foliar para as cultivares Sunrise Solo (A) e Tainung nº 1 (B) e diâmetro do caule para as cultivares Sunrise Solo (C) e Tainung nº 1 (D), nas condições dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, Cruz das Almas, 2001.

Fonte: Coelho et al. (2002a, 2002b).

Nas condições dos Tabuleiros Costeiros, a altura da planta do mamoeiro mantém-se em crescimento contínuo até pelo menos 884 dias após o plantio, com uma redução da sua taxa de crescimento médio aos 431 dias após o plantio (COELHO et al., 2002a, 2002b), sendo o parâmetro de crescimento de menor sensibilidade aos níveis de irrigação.

Nas condições de clima semiárido, o mamoeiro cultivar Tainung nº. 1 apresenta aumento da área foliar até 230 dias após o plantio (Figura 2), atingindo valores superiores aos registrados em condições de Tabuleiros Costeiros; no caso do diâmetro do caule, os valores para as duas condições foram semelhantes.

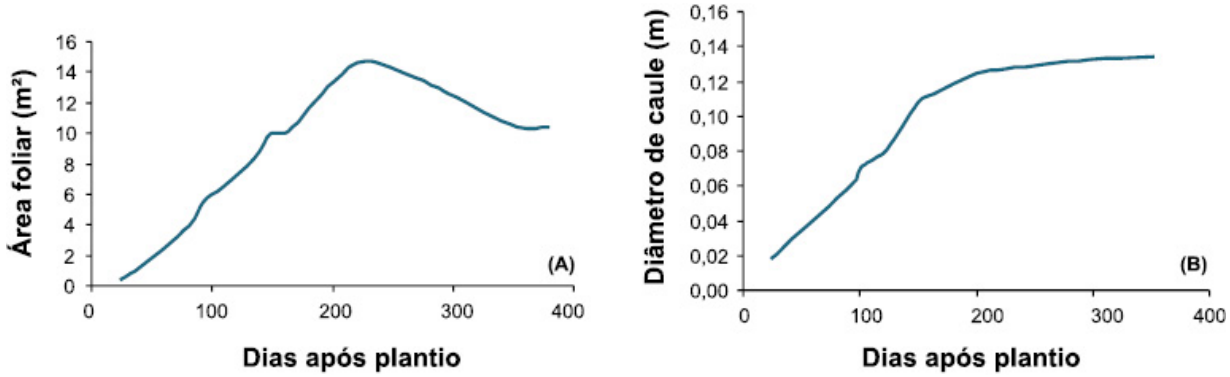


Figura 2. Área foliar (A) e diâmetro do caule (B) para o mamoeiro Tainung nº 1 irrigado nas condições do Semiárido da Bahia, Iaçu, 2001.

Fonte: Coelho et al. (2002a).

Floração, pegamento e crescimento de frutos do mamoeiro sob irrigação

Na fase de florescimento do mamoeiro, a ocorrência de deficit hídrico no solo pode causar grande queda de flores, implicando a redução da produtividade (HARKNESS, 1967). O problema da queda de flores em deficit hídrico pode ser agravado com a elevação de temperaturas acima de 28 °C e umidades relativas do ar abaixo de 60%. A irrigação reduz os efeitos negativos das altas temperaturas na floração do mamoeiro e contribui positivamente para o pegamento de flores (Figura 3). Em condições de Tabuleiros

Costeiros, a lâmina equivalente à reposição de 152% da evapotranspiração potencial, utilizando-se o gotejamento superficial, foi suficiente para garantir a floração em situação de temperatura acima de 28 °C e umidade relativa abaixo de 60%, impróprias à floração do mamoeiro (SILVA et al., 2003).

O pegamento de frutos também pode ser afetado pelo deficit hídrico do solo. Nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros, o uso da frequência de irrigação de 2 dias resultou em maior incidência de pegamento de frutos comparada às frequências de 3 e 4 dias (SANTOS et al., 2001).

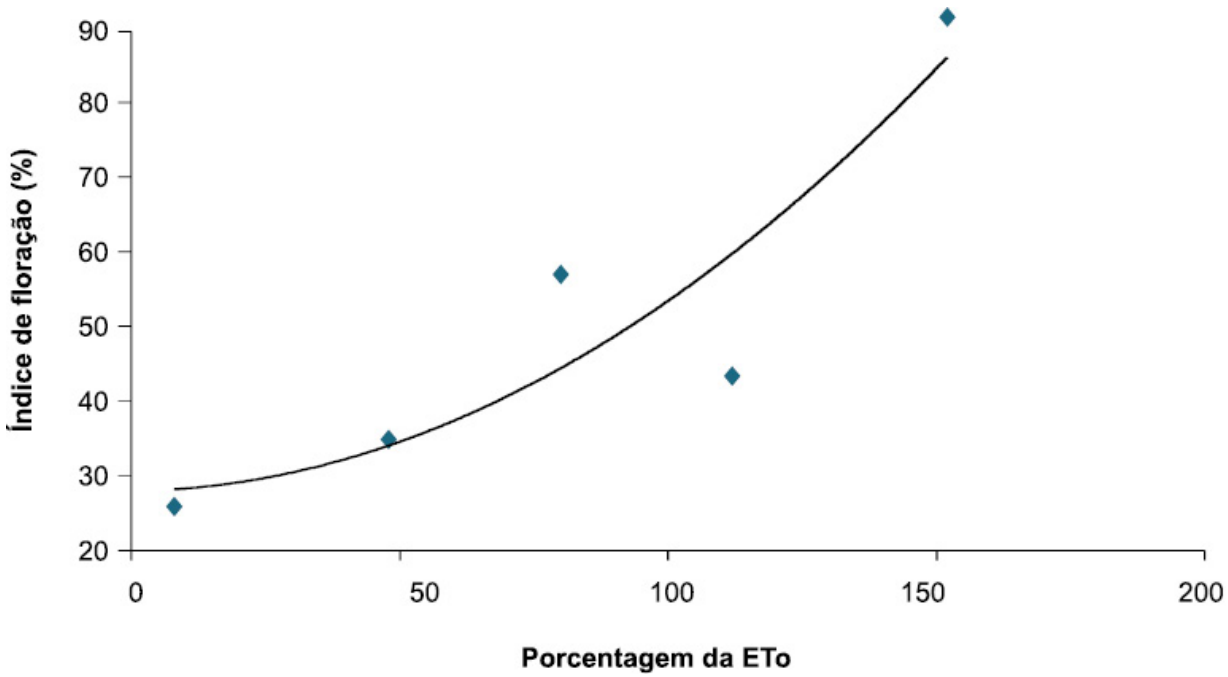


Figura 3. Comportamento do índice de floração (número de plantas com pegamento de flores/número de plantas total) em virtude da irrigação calculada pela porcentagem da evapotranspiração potencial (ETo).

Fonte: Silva et al. (2003).

Necessidades hídricas e produtividade do mamoeiro

A irrigação permite a obtenção de frutos maiores e melhores e maior superfície foliar, que pode contribuir para a redução dos efeitos negativos da incidência direta da radiação solar sobre os frutos, que em excesso pode causar queimaduras.

Trabalhos de pesquisa têm mostrado que, em condições de baixa demanda evapotranspiromética (temperatura amena, reduzido número de horas de céu claro e umidade relativa mais alta), o consumo de água da cultura varia de 2 mm dia^{-1} a 4 mm dia^{-1} até 7 mm dia^{-1} a 8 mm dia^{-1} em períodos de alta demanda evapotranspiromética (alta temperatura e luminosidade e baixa umidade relativa). Em condições de elevada demanda atmosférica, com as plantas adultas e em produção, entre o 9º e o 12º mês, pode-se recomendar a aplicação máxima diária de até 35 litros de água $planta^{-1}$ dia^{-1}.

Nas condições edafoclimáticas da região norte do Estado do Espírito Santo, a curva da produtividade, em razão da lâmina de água aplicada por microaspersão, apresentou um comportamento linear com máximo de produtividade para a lâmina aplicada até 1,20 vezes a água evaporada do tanque Classe A (SILVA, 1999). Os coeficientes de cultura aproximados determinados pelo método inverso, isto é, partindo-se de produtividades obtidas para coeficientes de cultura preestabelecidos para as condições dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano, que resultaram em maior produtividade física do mamoeiro da cultivar Sunrise Solo,

foram de 0,31, 0,42, 0,52 e 0,84 para 0–30 dias após o plantio (dap), 31–60 dap, 61–120 dap e acima de 120 dap respectivamente. Esses valores também permitiram uma maior eficiência no uso da água. Para a cultivar Tainung nº1, os coeficientes de cultura que resultaram em maior produtividade física do mamoeiro, associados à maior eficiência de uso da água, foram de 0,38, 0,51, 0,64 e 1,02 para 0–30 dap, 31–60 dap, 61–120 dap e acima de 120 dap respectivamente, para uma precipitação anual variando de 1.332 mm a 1.423 mm.

O valor máximo do coeficiente de cultivo a ser usado durante o ciclo do mamoeiro deve permanecer pelo menos até 370 dias após o plantio, quando pode ocorrer uma queda da área foliar e da própria produção do mamoeiro de até 50% para a cultivar Sunrise Solo e de até 35% para a cultivar Tainung nº 1 (COELHO et al., 2003a), o que necessitará, caso ocorra, do ajuste do coeficiente para a nova condição.

Nas condições climáticas do Semiárido, em solo franco-arenoso e para o mamoeiro do grupo Formosa, houve resposta positiva aos incrementos das lâminas de irrigação até 1,90 da evapotranspiração potencial, resultando em uma produtividade de 135 t ha^{-1}, embora a reposição de 1,37 da evapotranspiração potencial tenha resultado em uma produtividade de 117 t ha^{-1} (LORDELO et al., 2002).

Coelho Filho et al. (2006) tomou como base áreas foliares de cultivares de mamoeiro Tainung nº 1 e Sunrise Solo e obteve as curvas de coeficiente de cultura conforme a Figura 4. O coeficiente de cultivo máximo, tomado como 1,20, ocorreu 225 dias após o plantio para a cultivar Tainung nº 1 e 270 dias após o plantio para a

cultivar Sunrise Solo, quando a área foliar média atinge o valor máximo para as cultivares.

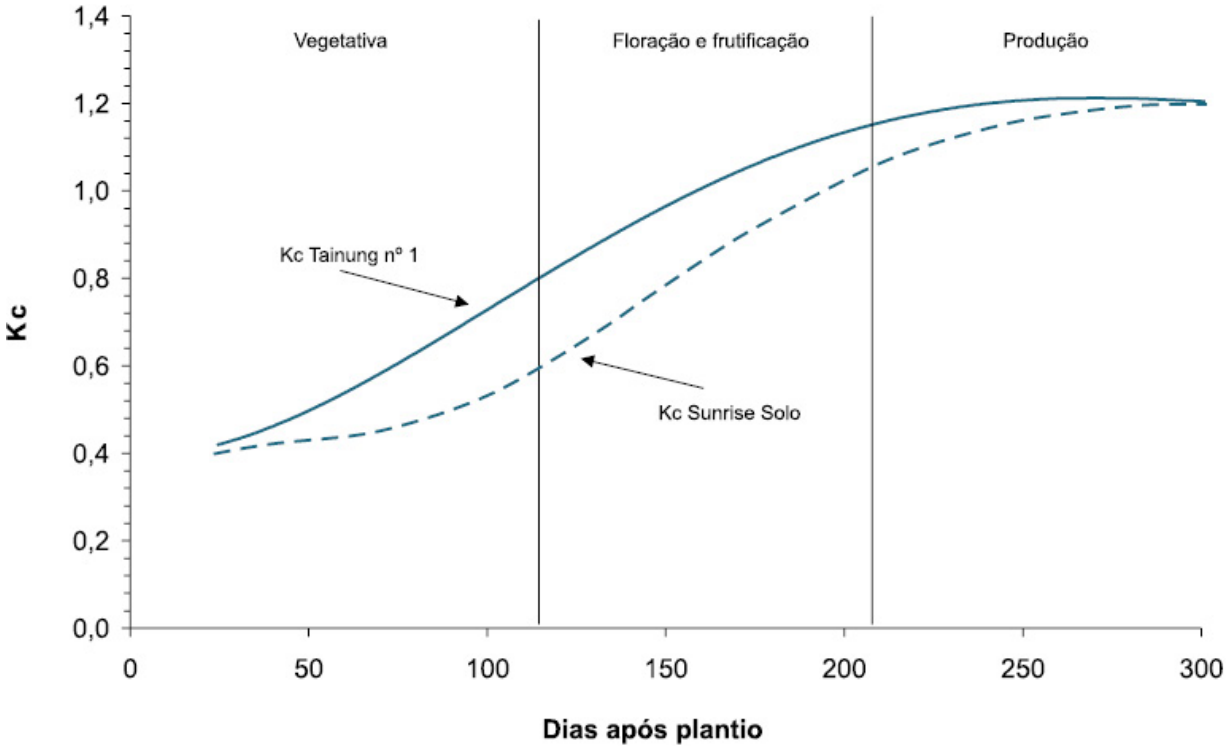


Figura 4. Coeficientes de cultura (*Kc*) para as cultivares Tainung nº 1 e Sunrise Solo ao longo do tempo, obtidos como função da área foliar.

Fonte: Coelho Filho et al. (2006).

Transpiração de plantas de mamão

A maior fonte de perda de água de um pomar adulto é mediante a água transpirada pelas plantas, principalmente quando se utilizam sistemas localizados de irrigação (microaspersão > gotejamentosuperficial > gotejamentoenterrado), que, quando comparados aos sistemas de irrigação por aspersão, molham pequenas faixas de solo, reduzindo drasticamente a água

evaporada. Por isso, a transpiração é um elemento que, se bem determinada, pode ser utilizada como parâmetro para quantificação da lâmina de irrigação. Quando se minimiza a evaporação da água no solo, a transpiração passa a ser a lâmina mínima necessária para manter um pomar com bom estado hídrico (ANGELOCCI, 1996; COELHO FILHO et al., 2006).

O mamoeiro é uma planta herbácea que possui elevada condutividade hidráulica, o que contribui para elevadas trocas de energia com o ambiente, favorecida pela elevada exposição das folhas à radiação solar. Essas características fazem que a transpiração por unidade de área foliar seja alta quando comparada a espécies que possuem elevada densidade de folhas quando adultas e reduzida condutividade hidráulica. A Tabela 1 contém dados de transpiração máxima por unidade de área foliar de plantas de mamão (‘Tainung nº 1’).

Tabela 1. Transpiração máxima por unidade de área foliar em razão da evapotranspiração de referência (*ETo*), de plantas do mamoeiro ‘Tainung nº 1’ em condições de campo (Cruz das Almas, BA).

ETo (mm dia $^{-1}$)	Transpiração (mm dia $^{-1}$)
2	1,16
3	1,59
4	2,36
5	2,74
6	3,25

Fonte: Coelho Filho et al. (2003b).

Como se pode observar nas Figuras 5A e 5B, é possível separar o efeito do ambiente e da planta que interferem nos valores de fluxo

de seiva. Primeiro, verifica-se que as plantas respondem às condições meteorológicas reinantes, acompanhando dinamicamente as variações da radiação solar global (MJ m^{-2} h^{-1}) ao longo de uma sequência de 3 dias seguidos (Figura 5a). Pode-se observar que a transpiração cai drasticamente a valores próximos de zero em razão da ocorrência de chuva próxima às 12h do primeiro dia da sequência. No segundo dia da sequência, predominantemente nublado, as pequenas taxas de transpiração refletem a baixa disponibilidade energética reinante no dia (efeito ambiental). Segundo, as plantas com maior superfície foliar (*AF*) transpiram sempre mais quando comparadas às de menor *AF* (efeito da planta), contudo, respondendo igualmente às variações de radiação global (Figura 5a e 5b).

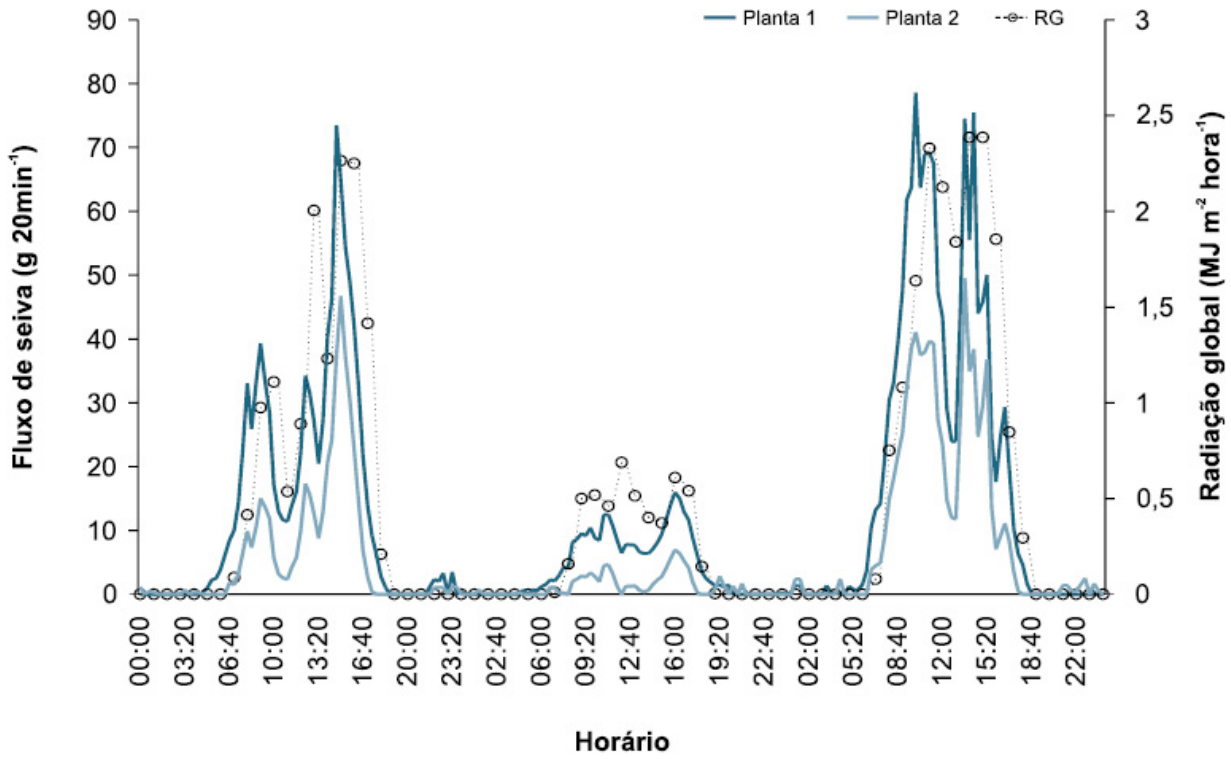


Figura 5A. Transpiração máxima de plantas de mamão 'Tainung nº 1' em dias chuvosos e com baixa disponibilidade energética.

Fonte: Coelho Filho et al. (2003b).

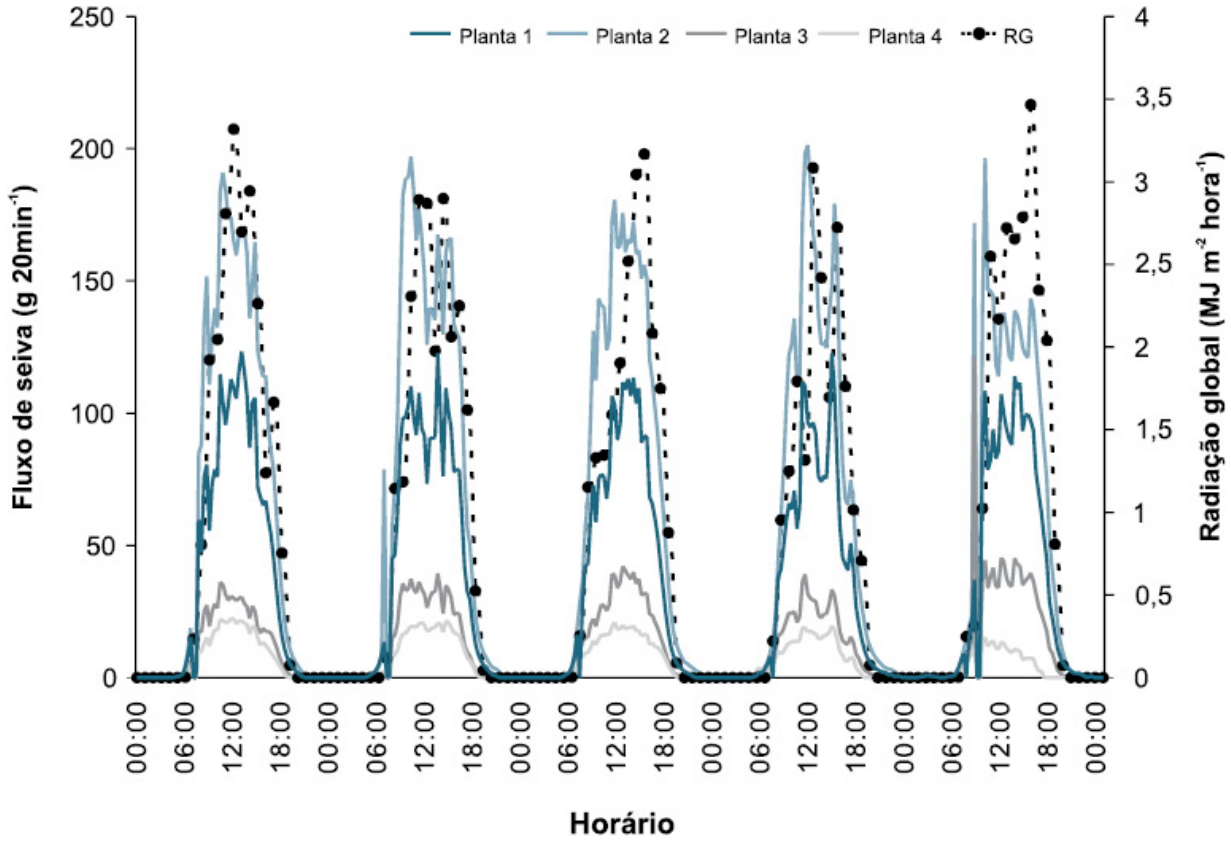


Figura 5B. Transpiração máxima de plantas de mamão ‘Tainung nº 1’ em dias sem nuvens e com elevada disponibilidade energética.

Fonte: Coelho Filho et al. (2003b).

É possível comparar os valores de transpiração de plantas com superfícies foliares diferentes e em dias com demandas atmosféricas variáveis, ao se realizar a modelagem da transpiração com padronização das plantas utilizando-se a área foliar. Para plantas de mamão, Coelho Filho et al. (2003a) chegaram à seguinte equação:

$$T = 0{,}56ETo \times AF \quad (1)$$

em que T é a transpiração por unidade de área foliar (L m^{-2} dia^{-1}), ETo a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e AF a área foliar (m^2).

Na Tabela 2, são apresentadas as lâminas de irrigação mínimas, sem considerar as perdas de água por evaporação nem os acréscimos correspondentes às perdas pela ineficiência do sistema de irrigação, calculadas com base na variação da área foliar e na evapotranspiração de referência. Esses valores podem servir como referência para pomares irrigados em que se realizam manejos de conservação de água do solo ou mediante a utilização de sistemas de irrigação mais eficientes, como a irrigação por gotejamento enterrado, que minimiza a evaporação. A vantagem de se utilizar essa metodologia de cálculo é que as lâminas serão ajustadas às condições de crescimento das plantas e das variações das condições meteorológicas, sendo, portanto, menos subjetivo do que o simples estabelecimento de um único coeficiente, como o caso Kc.

Tabela 2. Valores estimados da transpiração de plantas de mamão (L dia^{-1}) com base na área foliar (AF) e na evapotranspiração de referência (ETo).

AF (m²)	ETo (mm dia^{-1})				
	2	3	4	5	6
1	1,12	1,68	2,24	2,80	3,36
2	2,24	3,36	4,48	5,60	6,72
3	3,36	5,04	6,72	8,40	10,08
4	4,48	6,72	8,96	11,20	13,44
5	5,60	8,40	11,20	14,00	16,80
6	6,72	10,08	13,44	16,80	20,16
7	7,84	11,76	15,68	19,60	23,52
8	4,48	8,96	13,44	17,92	26,80
9	5,04	10,08	15,12	20,16	30,24
10	5,60	11,20	16,80	22,40	33,60

Fonte: Coelho Filho et al. (2003b).

Distribuição do sistema radicular e absorção de água pelas raízes

Os limites do sistema radicular podem variar conforme as características genéticas das plantas, as propriedades físicas do solo, como a textura e a estrutura, e o teor de água do solo que atua na resistência à penetração das raízes (GREGORY, 1987; KLEPPER, 1987). No entanto, sabe-se que o sistema e o manejo da irrigação influenciam sobremaneira a magnitude dessa resistência.

Os sistemas de irrigação que restringem a área molhada, caso da irrigação localizada, tendem a apresentar menor volume de solo explorado pelas raízes que os sistemas de aspersão. Os sistemas de irrigação por microaspersão possuem maior área e volume molhados que os sistemas de gotejamento, propiciando maior espaço para o desenvolvimento de raízes.

Para o gotejamento superficial, Silva et al. (2001), em Latossolo Amarelo de textura argilosa, obtiveram a profundidade efetiva do sistema radicular equivalente a 80% do comprimento total das raízes, critério estabelecido por Vieira et al. (1996), a 0,45 m, e pelo menos 60% das raízes concentraram-se à profundidade de 0,25 m (Figura 6a). No caso do gotejamento enterrado, com a linha lateral junto à fileira de plantas, houve um deslocamento vertical da região de maior concentração de raízes, isto é, entre 0,10 m e 0,45 m e distâncias da planta entre 0,10 m e 0,65 m. Comparada ao gotejamento, a distribuição das raízes no solo irrigado por microaspersão ocupou maior volume, principalmente na região entre a planta e o microaspersor, atingindo profundidades superiores a

0,60 m e distância da planta de 0,80 m (Figura 6b). A máxima concentração de raízes ocorreu nas profundidades entre 0,25 m e 0,45 m.

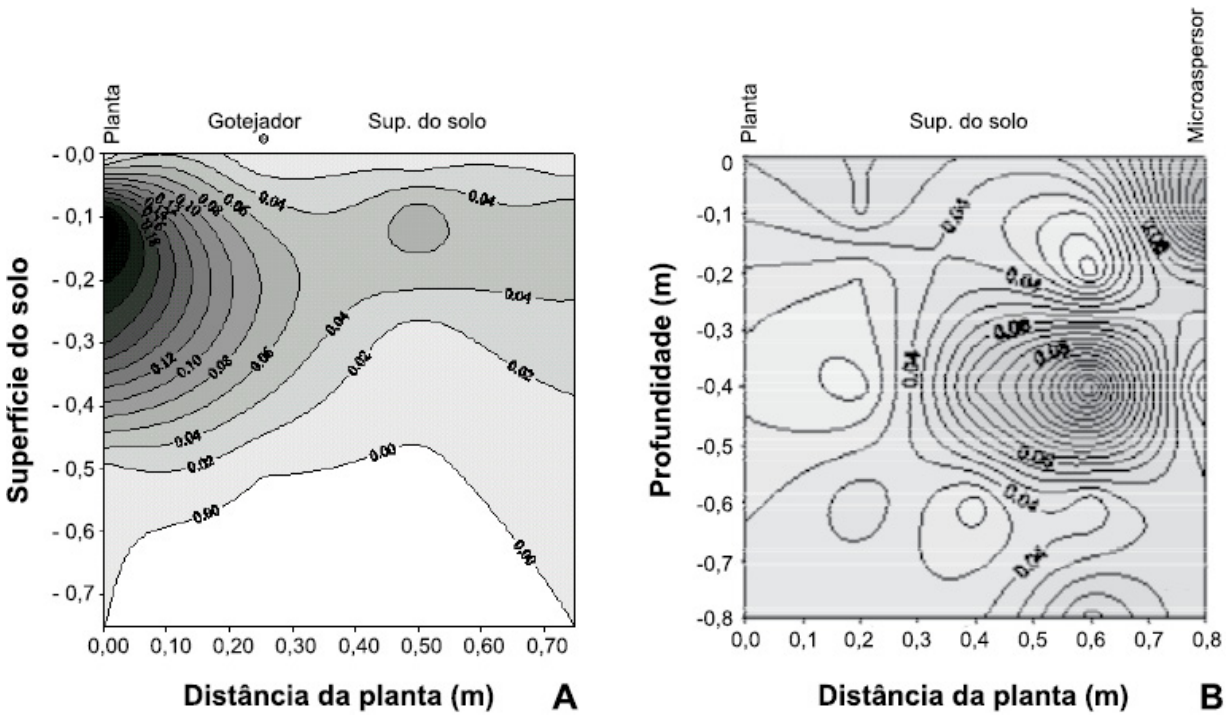


Figura 6. Distribuição do sistema radicular do mamoeiro (densidade de comprimento de raízes; g m^{-3}) irrigado por gotejamento (A) e por microaspersão (B).

Fonte: Coelho et al. (2003c).

Os limites do volume molhado de solo dependem do total de água aplicado na irrigação, que depende da demanda evapotranspirométrica, da eficiência do sistema de irrigação e do intervalo entre irrigações. Altas frequências de irrigação condicionam menores volumes molhados que baixas frequências, o que pode influenciar os padrões de distribuição das raízes. Coelho et al. (2003b) verificaram que, para o intervalo de irrigação de 2 e 3 dias, as raízes concentraram-se na profundidade até 0,50 m,

atingindo a distância de 0,75 m da planta. Para o intervalo de 4 dias, a profundidade das raízes atingiu valores superiores a 0,75 m.

A absorção de água pelo sistema radicular depende da densidade e da distribuição de raízes no volume molhado do solo (CHANDRA; RAI, 1996; HAYHOE, 1981). Assim, espera-se que, nas regiões de maior densidade de comprimento de raízes, ocorra maior absorção de água. O diâmetro das raízes também deve ser levado em conta, uma vez que as raízes muito finas e finas são consideradas as maiores responsáveis pela absorção de água e nutrientes. Portanto, as mesmas variáveis que influem na distribuição das raízes também influenciam a distribuição das zonas de extração de água no sistema radicular.

As regiões de absorção de água do sistema radicular do mamoeiro variam conforme o sistema de irrigação que condiciona a distribuição de água dos emissores em relação à posição da planta. A extração de água na zona radicular entre duas irrigações para o sistema de gotejamento na fileira de plantas (Figura 7a) ocorre na região entre a planta até 0,50 m desta, à profundidade máxima de 0,40 m. A maior atividade das raízes é detectada à distância horizontal da planta de 0,20 m e à profundidade de 0,22 m. No caso da microaspersão (Figura 7b), a distribuição da extração de água na zona radicular do mamoeiro foi abrangente tanto no lado do emissor, quanto no lado oposto a este, atingindo 0,50 m de distância da planta em ambos os lados e profundidades superiores a 0,50 m. A região de máxima absorção ficou situada à profundidade de 0,38 m e apresentou-se mais profunda que no caso do gotejamento. Tal abrangência é justificada pela distribuição de água da irrigação numa condição de área molhada superior à obtida no caso do gotejamento.

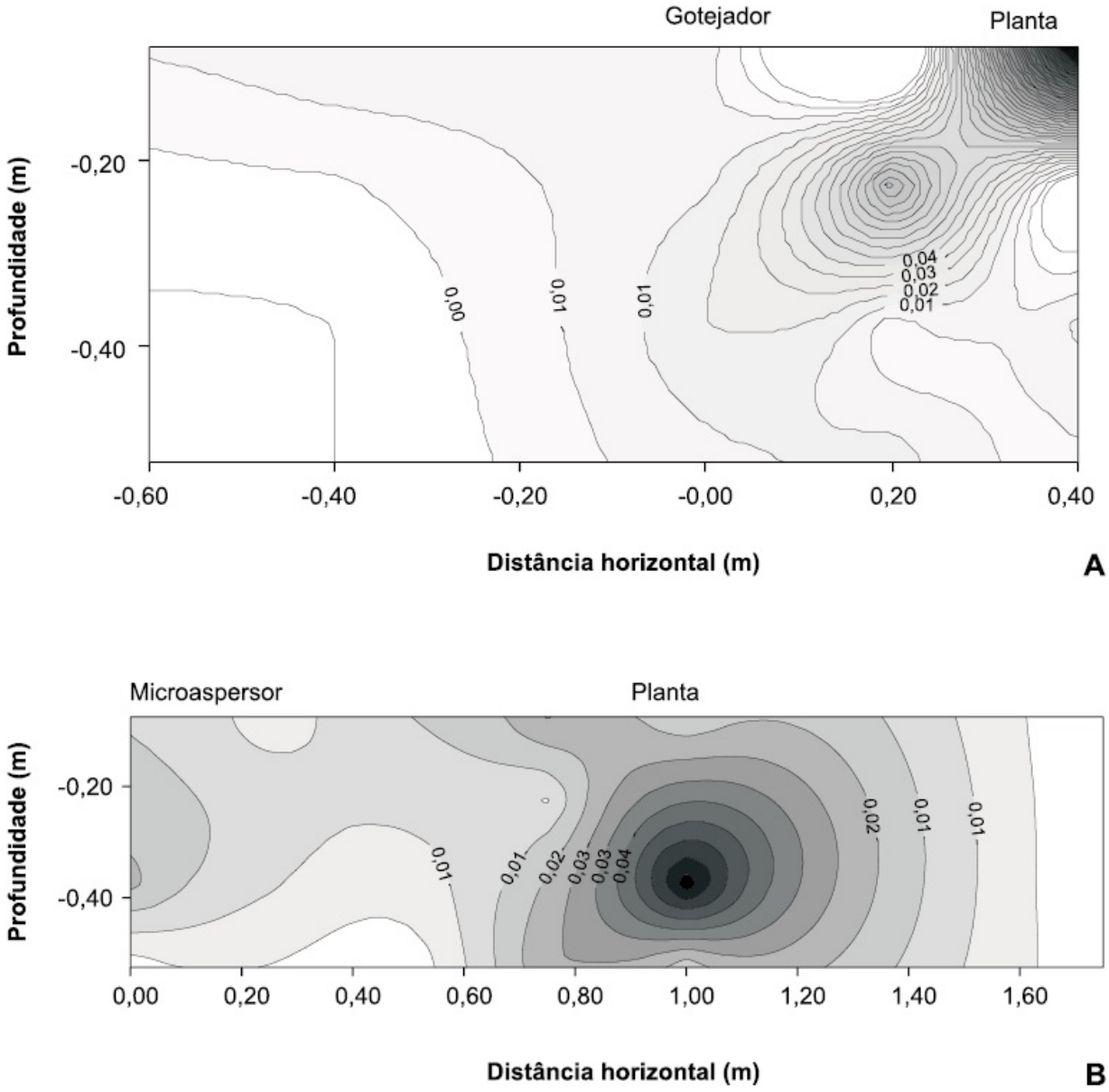


Figura 7. Distribuição da extração de água (cm^3 cm^{-3}) na zona radicular do mamoeiro irrigado por gotejamento na fileira de plantas (A) e por microaspersão (B).

Fonte: Silva et al. (2001).

As frequências de irrigação também influem na absorção de água pelo sistema radicular do mamoeiro. Coelho et al. (2003b) avaliaram a extração de água na zona radicular do mamoeiro sob gotejamento para três frequências de irrigação (2, 3 e 4 dias). A região de predominância da extração de água aumentou com a diminuição da

frequência de irrigação (Figura 8). Na frequência de 2 dias, houve predominância na extração de água até a distância horizontal de 0,40 m e profundidade de 0,30 m. Na frequência de 3 dias, a distância horizontal aumentou para 0,55 m, mantendo-se a mesma profundidade em relação à frequência de 2 dias. Na frequência de 4 dias, houve um aumento considerável na região de predominância da extração de água, cuja profundidade de predominância de extração aumentou para 0,80 m e houve extração em todas as posições ao longo da fileira de plantas, distanciadas entre si de 1,50 m.

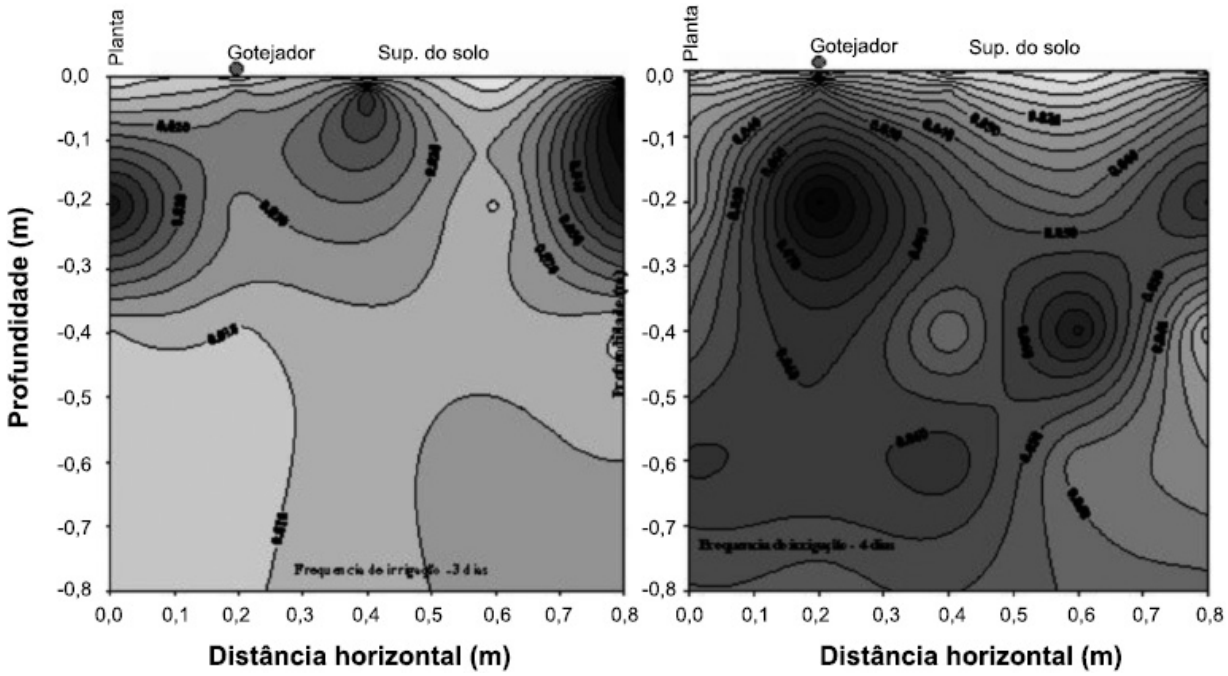


Figura 8. Distribuição da extração de água na zona radicular do mamoeiro irrigado por gotejamento na fileira de plantas para intervalo de irrigação de 3 dias (esquerda) e 4 dias (direita).

Fonte: Coelho et al. (2003c).

Métodos de irrigação

Os métodos de irrigação mais recomendados para a cultura do mamoeiro são os métodos pressurizados, isto é, a irrigação por aspersão e localizada.

Entre os sistemas de irrigação por aspersão, os autopropelidos e os pivôs centrais são os mais utilizados. Os sistemas autopropelidos têm a desvantagem da baixa eficiência energética, necessidade de mão de obra para a troca de posição, requerendo inclusive o uso de tratores para seu transporte de um local para outro, além de severa influência dos ventos.

No caso dos sistemas de pivôs centrais, o requerimento de mão de obra é baixo, e o consumo de energia é médio e apresenta uma razoável influência dos ventos. O método de aspersão, principalmente considerando-se sistemas de alta pressão, contribui para o aumento da queda de flores, causada pelo impacto das gotas de água nas plantas, e propicia condições microclimáticas favoráveis ao aparecimento de doenças. A uniformidade de distribuição de água também deve ser levada em consideração, pois, quando baixa, implica elevados ou baixos conteúdos de umidade do solo em alguns setores da área irrigada, comprometendo o balanço de ar/água do solo e causando efeito negativo ao desenvolvimento e produtividade da cultura.

Nos sistemas de irrigação localizada (Figura 9), tanto o gotejamento como a microaspersão vêm sendo muito utilizados. A microaspersão funciona com baixa pressão (100 kPa a 300 kPa) e vazão por microaspersor entre 20 L h^{-1} e 175 L h^{-1}. A disposição dos emissores é normalmente de um emissor para duas ou quatro plantas, sendo esperada uma uniformidade de distribuição de água nesses emissores acima de 85%.



Figura 9. Sistema de irrigação por microaspersão em mamoeiro.

Foto: Eugênio Ferreira Coelho

O gotejamento, que funciona na faixa de pressão de 50 kPa a 250 kPa, apresenta vazões mais comuns entre 2 L h^{-1} e 4 L h^{-1}. Para a cultura do mamão, recomendam-se dois gotejadores por planta, com vazão próxima ou igual a 4 L h^{-1}, instalados a 0,25 m do caule para solos arenosos e a 0,50 m para solos argilosos. O sistema de gotejamento pode ser superficial ou enterrado, ou seja, com as linhas laterais à superfície do solo ou enterradas. Quando enterradas, recomenda-se o uso de gotejadores de fluxo turbulento, de vazão igual ou próxima de 2 L h^{-1}, enterrados de 0,20 m a 0,30 m de profundidade, de forma a prover uma distribuição de água que possa facilitar o desenvolvimento das raízes, mantendo uma adequada relação ar/água ao sistema radicular. Para o gotejamento enterrado, recomenda-se o plantio no período chuvoso, visando

estabelecer para o período de deficit hídrico um sistema radicular suficiente para usar a água disponível no volume molhado criado pelo gotejador.

O sistema de microaspersão proporciona maior área molhada ao solo dando melhores condições às raízes de se desenvolverem. Entretanto, as diferenças em produtividade comparadas ao gotejamento superficial ao longo da fileira de plantas são pequenas (inferiores a 10%). A utilização do gotejamento enterrado em solos de Tabuleiros Costeiros, plantados com mamoeiro do grupo Solo, resultou em produtividade média 15% menor que a obtida com o uso do sistema superficial. O uso da microaspersão deve levar em consideração a fase inicial da cultura, quando as raízes podem receber lâminas inferiores às necessárias em razão da distribuição de água no microaspersor. Essa distribuição apresenta lâminas maiores próximas do emissor e decrescem à medida que se afastam dele. O uso de fileiras duplas e de microaspersores de maior raio de ação (acima de 3,0 m) reduz esse problema.

Manejo da irrigação

O manejo da irrigação envolve a tomada de decisão sobre quando irrigar e quanto de água aplicar. Para auxiliar o produtor a tomar a decisão mais apropriada, diferentes métodos foram desenvolvidos. Pode-se programar a irrigação de uma área cultivada usando-se um método ou uma combinação de dois ou mais métodos. O produtor deve usar os métodos existentes de manejo da irrigação, mas ciente de que um ajuste local muitas vezes poderá ser necessário, dadas

as muitas variáveis envolvidas nos processos do sistema solo-água-planta-atmosfera.

A definição de quando irrigar, no caso da irrigação localizada, pode ser preestabelecida. Nas condições dos Tabuleiros Costeiros da Bahia e do norte do Espírito Santo, as maiores produtividades foram conseguidas para o intervalo de 3 dias entre irrigações. No caso de regiões semiáridas, deve-se estabelecer o intervalo de irrigação de 1 dia. Tratando-se da aspersão, considerar o turno de rega em razão da lâmina de irrigação real necessária ou lâmina líquida (mm), LRN, a ser reposta, e a evapotranspiração da cultura, ETc:

$$TR = \frac{LRN}{ETc} \quad (2)$$

O valor da LRN é dado por

$$LRN = (\theta_{CC} - \theta_{PM}) \times Z \times f \quad (3)$$

em que θ_{CC} e θ_{PM} correspondem ao teor de umidade do solo (cm^3 cm^{-3}) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente respectivamente, Z representa a profundidade efetiva do sistema radicular (mm) e f representa a variação máxima permissível da disponibilidade de água no solo (decimal) sem causar redução da produtividade da cultura.

Os valores de f recomendáveis para o mamoeiro são de no máximo 0,25. O valor de Z deve levar em conta que o sistema radicular das plantas de mamão em regiões produtoras de Tabuleiros Costeiros envolve um volume de solo limitado por um raio próximo de 0,70 m, em relação ao tronco, e a profundidade (Z) de 0,50 m, cuja maioria das raízes se encontra num raio de 0,35 m a partir do tronco.

Entretanto, tais valores podem variar conforme a textura e estrutura no perfil do solo.

O cálculo da quantidade de água a ser aplicada pode ser feito determinando-se a umidade do solo ou indiretamente pela determinação do potencial matricial do solo. O momento da irrigação também pode ser determinado por meio do estado atual da água do solo, como índice de estresse hídrico da cultura (potencial matricial), utilizando-se sensores apropriados como o tensiômetro.

Monitoramento do estado da água do solo

A umidade do solo pode ser obtida pelo método gravimétrico, pelo uso da reflectometria no domínio do tempo (TDR), além de outros. Os blocos de resistência elétrica e o tensiômetro permitem a obtenção do potencial matricial que pode ser convertido na umidade do solo pela curva de retenção da água do solo.

O tensiômetro indica o potencial matricial da água no solo (ψ_m) em razão do seu conteúdo de umidade a uma dada profundidade. Alguns trabalhos de pesquisa em solos de textura média têm mostrado que, para o desenvolvimento e produção adequada do mamoeiro, os teores de água do solo devem corresponder a valores de potencial matricial próximos de -20 kPa. Para solos arenosos, deve ser acima de -15 kPa. Esses valores devem ser tomados como referências iniciais, devendo ser ajustados conforme as condições locais de solo.

Uma vez conhecido um potencial matricial crítico (ψ_{mc}), isto é, aquele abaixo do qual haverá comprometimento da produtividade, a irrigação será feita quando a umidade do solo cair a esses níveis de potencial. A quantidade de água a ser aplicada ou a lâmina líquida será calculada pela equação:

$$LRN = \theta_{cc} - \theta_{c} \quad (4)$$

em que: θ_{cc} é o conteúdo de umidade do solo equivalente ao potencial matricial à capacidade de campo ($m^3\ m^{-3}$) e θ_{c} o conteúdo de umidade do solo equivalente ao potencial crítico.

Um ponto importante a ser observado é quanto à localização dos sensores no perfil do solo (Figura 10). Como regra, devem-se instalar os sensores no centro de atividade do sistema radicular ou numa região do sistema radicular representativa do cenário geral de extração de água, a distâncias inferiores a 0,30 m da planta e a profundidades entre 0,20 m e 0,40 m, devendo-se também padronizar as posições dos sensores em relação ao emissor.



Figura 10. Tensiômetros de mercúrio (A) e do tipo vacuômetro (B).

Fotos: Eugênio Ferreira Coelho

Uso do balanço de água no solo

O uso do método do balanço de água no solo requer conhecimento de um significativo número de variáveis, tanto meteorológicas como físico-hídricas do solo, o que pode limitar mais o seu uso. No entanto, é o método que melhor permite avaliar e tomar decisões sobre o manejo da irrigação. É um método disponível em aplicativos computacionais (Sisda, Irriga, Irriger, IrriPlus, IrriSimples, MDIC e Irrigafácil). O seu uso requer o estado inicial do solo com umidade à capacidade de campo uma vez que são feitas reposições da

evapotranspiração. O acompanhamento com sensores de água no solo é fundamental, principalmente imediatamente após os períodos chuvosos, para se determinar o momento certo do retorno da irrigação.

Fertirrigação do mamoeiro

Calagem e adubação

O mamoeiro apresenta bom desenvolvimento em solos com pH variando de 5,5 a 6,7. Em solos ácidos (pH 4,5–5,0) ou de acidez média (pH 5,1–5,5), com teores de Al^{+3} maiores que 0,4 $cmol_c dm^{-3}$ ou de Ca^{+2} + Mg^{+2} menores que 2 $cmol_c dm^{-3}$, a correção da acidez é obrigatória.

A quantidade necessária de calcário (*NC*) com base nos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) é determinada por uma das seguintes fórmulas, utilizando-se a maior quantidade obtida:

a) $NC\ (t\ ha^{-1}) = 2[2 - (cmol_c\ Ca^{+2} + Mg^{+2}/dm^3)] \times fi$

ou

b) $NC\ (t\ ha^{-1}) = 2(cmol_c\ Al^{+3}/dm^3) \times fi$

em que *fi* = 100/PRNT do calcário.

A recomendação de calagem com base na saturação de bases visa elevar a saturação do solo a 80%, sendo a *NC* calculada pela seguinte fórmula:

$$NC\ (t\ ha^{-1}) = CTC(V_2 - V_1)/100fi$$

em que CTC é a capacidade de troca de cátions; V_2 é a porcentagem da saturação por bases que se pretende atingir, sendo 80% para o mamoeiro; V_1 é a porcentagem inicial de saturação por bases (V%).

A aplicação de calcário, quando recomendada, deve ser realizada com antecedência de 2 a 3 meses antes do plantio. Orienta-se para áreas novas a substituição de 30% do calcário pelo sulfato de cálcio, como forma de reduzir o efeito tóxico do Al^{+3} do subsolo e permitir o crescimento das raízes do mamoeiro nas camadas subsuperficiais. Quando o teor de Mg^{2+} for inferior a 9 $mmol_c dm^{-3}$, deve-se dar preferência ao calcário dolomítico (25%–35% de CaO e MgO >12%). O teor mínimo de Ca^{+2} no solo deve ser de 20 $mmol_c dm^{-3}$.

Nas Tabelas 3, 4 e 5 são apresentadas as recomendações de adubação com macronutrientes e boro, com base na análise de solo. A cada 6 meses após o plantio, deve-se fazer nova análise de solo visando ajustar a adubação, seguindo-se as recomendações descritas.

Tabela 3. Recomendação de adubação, com base na análise química de solo, do plantio aos 120 dias pós-plantio.

Plantio e pós-plantio										
Fase	**N orgânico**	**P resina (mg dm^{-3})**			**K trocável ($mmol_c$ dm^{-3})**			**B água quente (mg dm^{-3})**		
		0–12	13–30	>30	0–1,5	1,6–3,0	>3	0–0,2	0,2–0,6	>0,6
Plantio	**kg ha^{-1}**	**P_2O_5 (kg ha^{-1})**			**K_2O (kg ha^{-1})**			**B (kg ha^{-1})**		
	60	60	40	20	-	-	-	-	-	-
Pós-plantio	**N mineral**	**P resina (mg dm^{-3})**			**K trocável ($mmol_c$ dm^{-3})**			**B água quente (mg dm^{-3})**		
		0–12	13–30	>30	0–1,5	1,6–3,0	>3	0–0,2	0,2–0,6	>0,6

Dias	kg ha^{-1}	P_2O_5 (kg ha^{-1})			K_2O (kg ha^{-1})			B (kg ha^{-1})		
30–120	60	40	30	20	80	60	40	1	0,5	0

Fonte: Oliveira (2002).

Tabela 4. Recomendação de adubação, com base na análise química de solo, da floração aos 360 dias pós-plantio.

Floração e frutificação (5º mês em diante)										
Produtividade esperada (t ha^{-1})	N mineral	P resina (mg dm^{-3})			K trocável (mmol$_c$ dm^{-3})			B água quente (mg dm^{-3})		
		0–12	13–30	>30	0–1,5	1,6–3,0	>3	0–0,2	0,2–0,6	>0,6
	kg ha^{-1}	P_2O_5 (kg ha^{-1})			K_2O (kg ha^{-1})			B (kg ha^{-1})		
30–50	180	60	40	20	220	140	60	1	0,5	0
50–70	230	70	50	30	270	180	80	1	0,5	0
>70	280	80	60	40	320	210	100	1	0,5	0

Fonte: Oliveira (2002).

Tabela 5. Recomendação de adubação, com base na análise química de solo, no segundo ano pós-plantio.

Segundo ano (produção)										
Produtividade esperada (t ha^{-1})	N Mineral	P resina (mg dm^{-3})			K trocável (mmol$_c$ dm^{-3})			B água quente (mg dm^{-3})		
		0–12	13–30	>30	0–1,5	1,6–3,0	>3	0–0,2	0,2–0,6	>0,6
	Kg ha^{-1}	P_2O_5 (kg ha^{-1})			K_2O (kg ha^{-1})			B (kg ha^{-1})		
30–50	200	130	80	40	240	160	80	2	1	0
50–70	240	150	100	50	280	190	95	2	1	0
>70	280	170	120	60	320	220	110	2	1	0

Fonte: Oliveira (2002).

Na implantação da cultura, devem-se aplicar, do total de nutrientes recomendados para o primeiro ano, 15% do N na cova de plantio,

na forma orgânica (torta de mamona e estercos de gado, de aves ou de cabra), juntamente com 33% do P (superfosfato simples), para suprir a planta com enxofre (S), na forma líquida como fosfato mono ou diamônico ou outra fonte de fósforo de solubilidade aceitável.

O mamoeiro é uma cultura de demanda nutricional relativamente alta, o que é justificado pelas elevadas produtividades que pode apresentar. É uma cultura que começa a fase de floração a partir do terceiro mês após o transplantio e, em produção, continua a partir do sétimo/oitavo mês. Essa característica indica que as plantas, para manterem seu regime produtivo contínuo, absorvem nutrientes ao longo de todo o ciclo.

Marcha de absorção

O mamoeiro é uma planta que extrai quantidades relativamente altas de nutrientes e apresenta extrações contínuas durante o primeiro ano, conforme pode ser observado na Figura 11, que ilustra as marchas de absorção de macronutrientes e micronutrientes, estabelecidas por Coelho Filho et al. (2007).

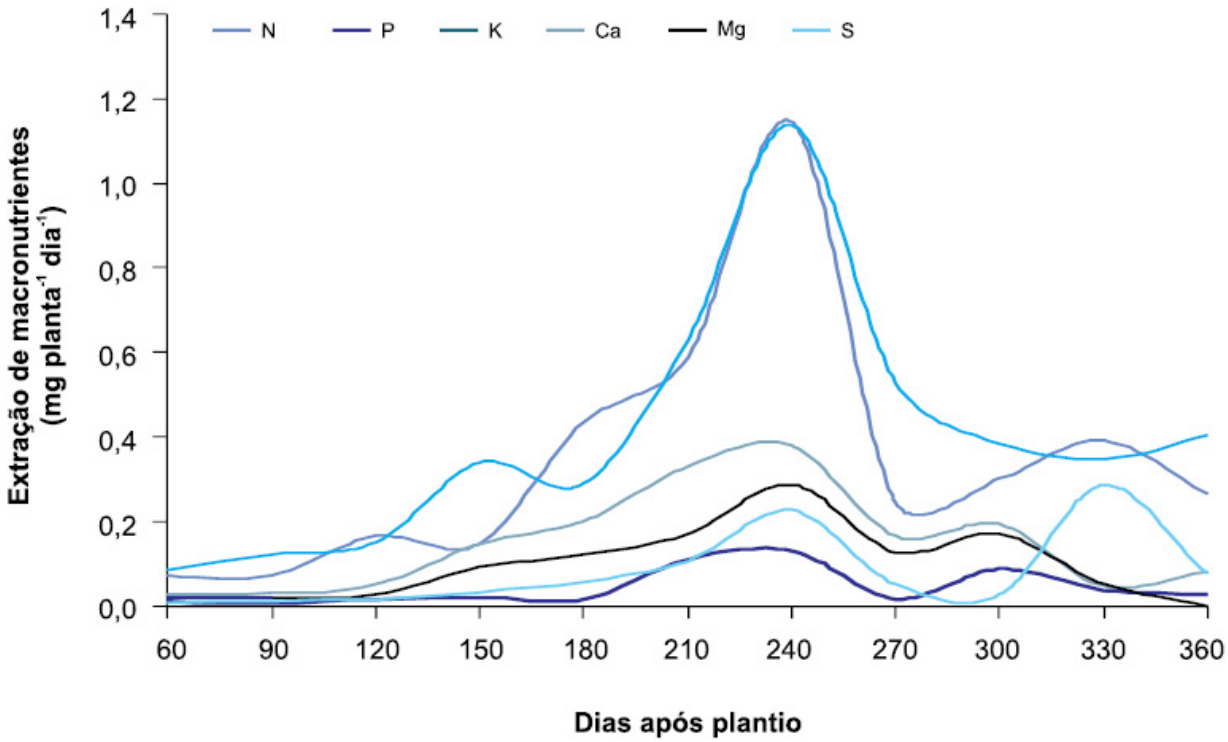


Figura 11a. Extração de macronutrientes.– g planta^{-1} dia^{-1} – pelo mamoeiro 'Sunrise solo', fertirrigado com ureia e densidade de 1.543 plantas ha^{-1}.

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

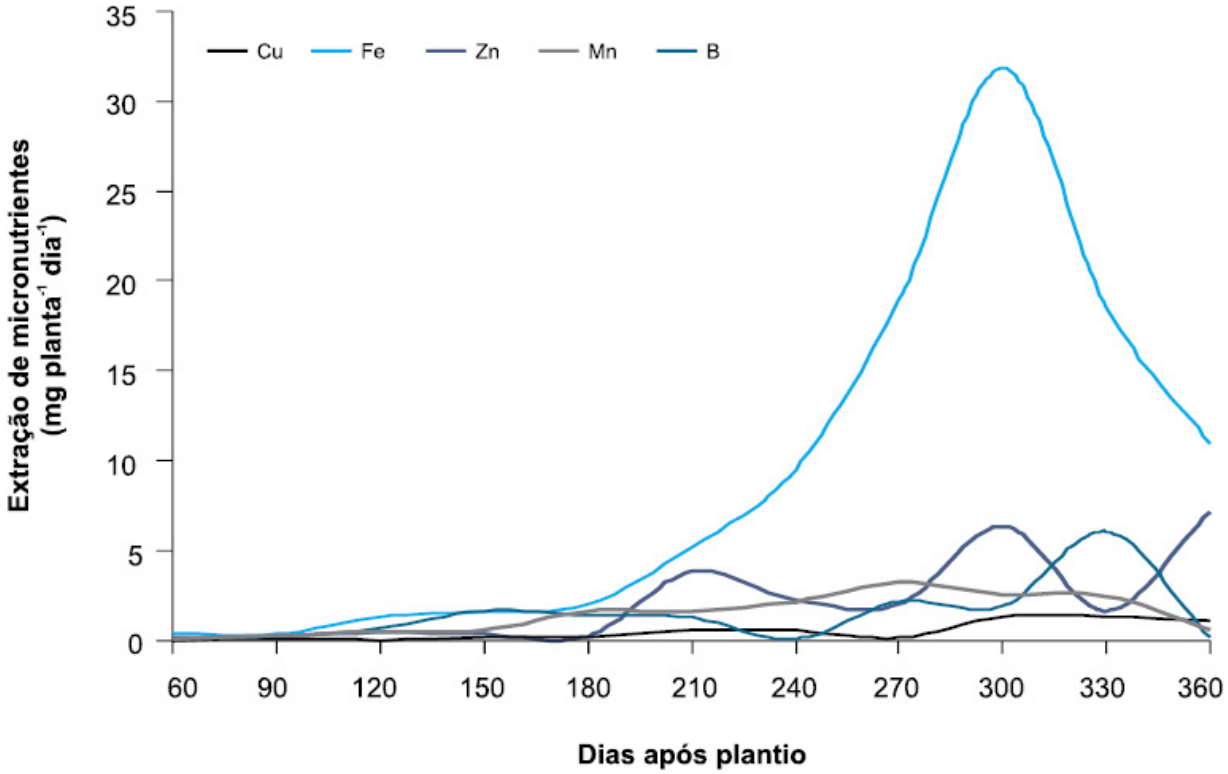


Figura 11b. Extração de micronutrientes – mg planta^{-1} dia^{-1} – pelo mamoeiro 'Sunrise solo', fertirrigado com ureia e densidade de 1.543 plantas ha^{-1}.

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

Analisando a Figura 11, verifica-se, no caso dos macronutrientes, que aos 60 dias após o plantio as taxas de extração foram de 0,09 g dia^{-1} para nitrogênio (N) e potássio (K) e de 0,01 g dia^{-1} para cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e fósforo (P). Há significativo acréscimo das taxas a partir de 120 dias até 240 dias após o plantio, quando se atingem níveis máximos (1,14 g dia^{-1} para K; 1,15 g dia^{-1} para N; 0,38 g dia^{-1} para Ca; 0,3 g dia^{-1} para Mg; 0,23 g dia^{-1} para S; 0,13 g dia^{-1} para P). Esse período, conforme os resultados, configura-se como o mais exigente em termo de nutrição pela cultura. Após 240 dias, há decréscimo das taxas de extração de todos os macronutrientes, talvez por coincidir com o período final de colheita desse primeiro ciclo. Nessa fase, ocorre um decréscimo

abrupto das taxas de extração, ficando em média 0,38 g dia^{-1} para K, 0,32 g dia^{-1} para N, 0,05 g dia^{-1} para P, 0,11 g dia^{-1} para Mg e 0,08 g dia^{-1} para S. Com relação aos micronutrientes, a extração também se eleva decorridos 120 dias após o plantio, crescendo lentamente até o final da análise, sendo verificados picos para Zn (6,4 mg dia^{-1}), Fe (32 mg dia^{-1}), B (6,1 mg dia^{-1}) e Mn (3,22 mg dia^{-1}), respectivamente, aos 300, 330 e 270 dias após o plantio.

Cunha (1979) também determinou a extração de nutrientes e exportação pela colheita da espécie *Carica papaya*, cultivada em uma densidade de 1.650 plantas ha^{-1}. Os resultados estão na Tabela 6 e mostram as quantidades totais absorvidas pela parte aérea da planta e o percentual exportado pelas flores e frutos durante um período de 360 dias de cultivo. Ressalta-se que no primeiro ano a planta apresenta exportação de nutrientes pelos frutos em apenas 3 a 5 meses de colheita. Dos macronutrientes, o N, o K e o Ca foram os nutrientes mais absorvidos, enquanto o P foi o que apresentou a menor absorção. Dos micronutrientes, o Fe, o Mn, o Zn e o B foram os elementos mais absorvidos, enquanto o Cu e o Mo foram extraídos em menores quantidades.

Tabela 6. Quantidades totais de macronutrientes e micronutrientes absorvidas (AB) pelo mamoeiro e acumuladas nas flores e frutos (AC) no primeiro ano de cultivo.

Macronutriente (kg ha^{-1})											
N		**P**		**K**		**Ca**		**Mg**		**S**	
AB	AC	AB	AC	AB	AC	AB	AC	AB	AC	AB	AC
104	25	10	3	108	27	37	5	16	2	12	3
Micronutriente (g ha^{-1})											
B		**Cu**		**Fe**		**Mn**		**Mo**		**Zn**	
AB	AC	AB	AC	AB	AC	AB	AC	AB	AC	AB	AC
102	20	30	6	338	54	211	29	0,25	0,09	106	22

Fonte: Cunha (1979).

As menores quantidades acumuladas de macronutrientes nos órgãos reprodutivos do mamoeiro são de Ca e Mg na ordem de 13% e 14% respectivamente. Em relação ao P, 30% do total absorvido no primeiro ano de cultivo é acumulado nas flores e frutos, enquanto o N, o K e o S apresentam acumulações na faixa de 24% a 25%.

O Mo é, proporcionalmente, o micronutriente mais acumulado nas flores e frutos, apresentando taxas de 36% do total absorvido. Para o B, o Cu e o Zn, as taxas de acumulação nos órgãos reprodutivos situam-se em torno de 20%. O Mn e o Fe, apesar das altas taxas de absorção, apresentam valores próximos a 15% de acumulação nas flores e frutos.

Coelho Filho et al. (2007), em estudo de absorção de nutrientes pelo mamoeiro, também verificaram, para o primeiro ano de cultivo, que a absorção de macronutrientes seguiu a mesma tendência do acúmulo de matéria seca, apresentando a seguinte ordem de extração: K>N>Ca>Mg>S>P. A quantidade do K absorvida ficou ligeiramente superior à do N, obtendo-se uma relação de 1,15:1. O P, apesar de ser absorvido em menor quantidade, foi proporcionalmente o macroelemento mais acumulado nas flores e frutos (aproximadamente 32%), enquanto os valores das exportações dos demais ficaram entre 28% e 31% (Tabela 7). Considerando-se os micronutrientes absorvidos, foi observada a seguinte ordem de extração: Fe > Zn > Mn = B > Cu (Tabela 7). Os micronutrientes mais acumulados nas flores e frutos foram o Cu e o Zn, com 49% do total extraído pela planta, seguidos do Fe, Mn e B com acumulações respectivas de 38%, 42% e 37%.

Tabela 7. Totais de macronutrientes (g planta^{-1}) e micronutrientes (mg planta^{-1}) acumulados nos tecidos das plantas fertirrigadas com fonte amídica (acúmulo de 12 meses).

	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	(g planta^{-1})						(mg planta^{-1})				
Caule	48,0	9,2	76,2	20,7	14,0	15,5	51,1	554,1	233,3	102,7	76,5
Folha	29,1	3,5	14,5	12,7	8,6	4,5	31,9	1.159,0	140,0	157,3	205,8
Flores + Fruto	33,5	4,7	33,7	13,9	10,1	8,8	82,1	1.162,0	361,2	200,1	176,7
Pecíolo	4,5	0,7	13,6	6,8	4,0	1,4	4,1	147,3	9,8	18,1	19,8
Total	**115,0**	**14,7**	**133,5**	**50,0**	**32,9**	**28,5**	**169,1**	**3.022,4**	**744,3**	**478,1**	**478,7**
Flores + Frutos (%)[(1)]	29,1	32,3	25,3	27,8	30,6	30,9	48,5	38,4	48,5	41,8	36,9

[(1)] Percentual de nutrientes acumulados pelas flores e frutos em relação ao total extraído.
Fonte: Oliveira (2002).

A exportação de macronutrientes, em kg ha^{-1} durante 12 meses de colheita, em uma produtividade média de 49 t ha^{-1} ano^{-1}, é da ordem de 87 de N, 10 de P, 103 de K, 17 de Ca, 10 de Mg e 10 de S (CUNHA, 1979). O K ocupa o primeiro lugar na exportação pela colheita, seguido pelo N. O Ca aparece em terceiro lugar na exportação, enquanto quantidades similares de P, Mg e S são exportadas.

Em relação aos micronutrientes, a exportação, em g ha^{-1} ano^{-1} durante 12 meses de colheita, situa-se em 48 de B, 16 de Cu, 164 de Fe, 90 de Mn, 0,38 de Mo e 68 de Zn. Embora o B ocupe apenas o quarto lugar na exportação pela colheita, sua deficiência é comum em plantios onde não são efetuadas adubações orgânicas ou químicas com esse micronutriente.

Parcelamento dos fertilizantes para fertirrigação

Pela marcha de absorção de nutrientes (Figura 11), podem-se obter taxas de absorção diárias, mensais, bimensais ou na escala de tempo que se preferir e, dessa forma, estabelecer um parcelamento na aplicação de macro e micronutrientes. Foram estabelecidos intervalos de tempo em que a taxa de absorção se manteve constante, isto é, a declividade da curva de absorção manteve-se sem variação significativa. Dessa forma, obtiveram-se os valores da Figura 12 para os principais macronutrientes utilizados em fertirrigação. Podem-se verificar, para cada nutriente, as porcentagens que deverão ser aplicadas no período de tempo correspondente. Como exemplo, se for necessária uma aplicação de 350 kg de K_2O no primeiro ano, deverão ser aplicados 8,6% ou 30,1 kg nos primeiros 120 dias, 14,2% ou 49,7 kg no período de 121–180 dias, 51,7% ou 180,9 kg no período de 181–270 dias e 25,5% ou 89,2 kg no período de 271–360 dias.

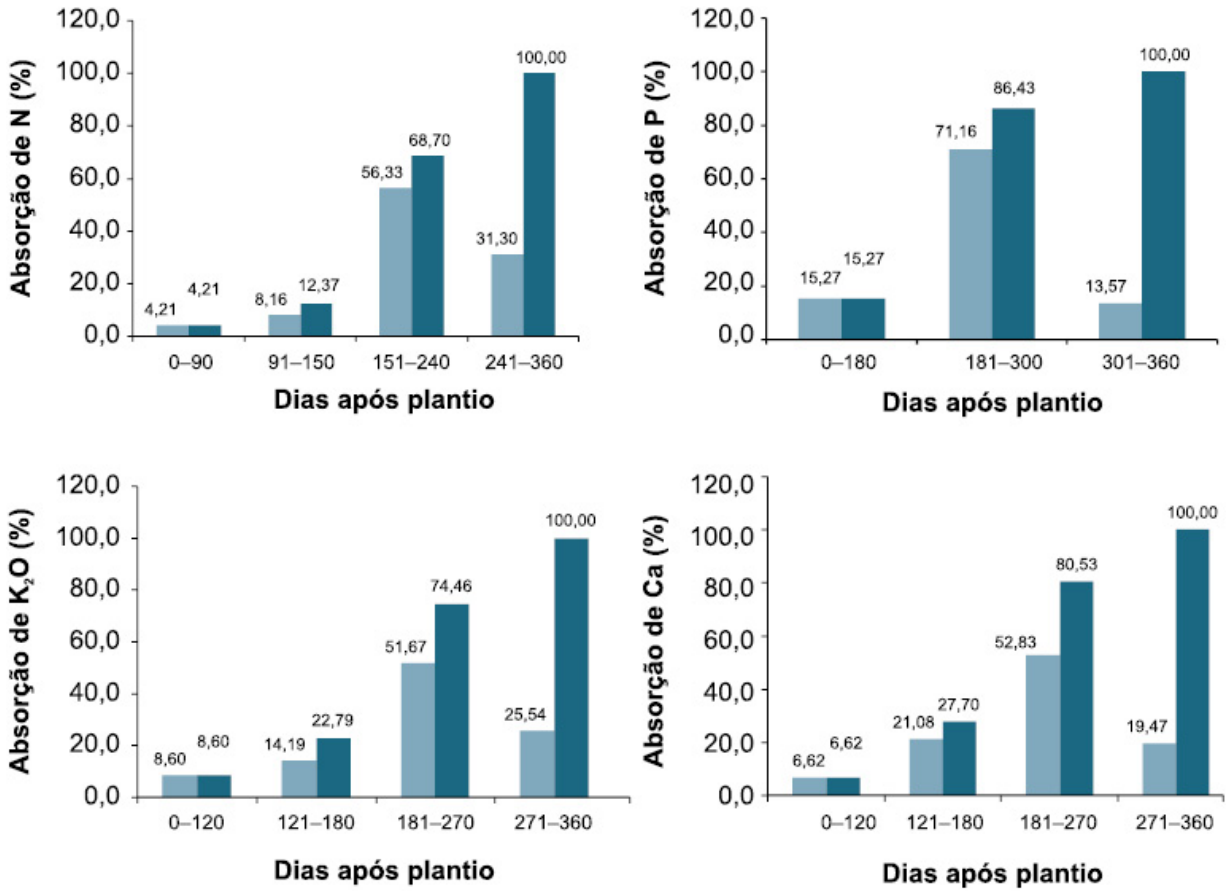


Figura 12. Porcentagem de nutrientes absorvidos ao longo do primeiro ano de cultivo do mamoeiro.

Fonte: adaptada de Coelho Filho et al. (2007).

Manejo da fertirrigação

O uso da fertirrigação visa atender à demanda por nutrientes das culturas nos períodos corretos de exigência, minimizar as perdas por processos de lixiviação, fixação e volatização e, por conseguinte, aumentar a eficiência do processo de adubação. Porém, assim como os fatores que influenciam os parâmetros de irrigação devem ser acompanhados, também é importante acompanhar os parâmetros nutricionais das plantas para adequação do esquema de fertirrigação. Esse aspecto é relevante já que as condições edafoclimáticas são variáveis para cada local, e a planta

é uma expressão viva de todas as interações que ocorrem no ambiente em que é cultivada.

As adubações com nitrogênio e potássio, via água de irrigação, devem ser aplicadas em frequências de 3 ou 7 dias, devendo-se ajustar os intervalos de aplicação de acordo com a resposta da cultura e a economicidade do processo. O fósforo, pela sua menor exigência e menor mobilidade no solo, deve ser parcelado em intervalos de 30 dias. Com base nas Tabelas 3 e 4, e considerando-se uma produtividade esperada de 50 t ha^{-1} a 70 t ha^{-1}, obtêm-se as doses totais de adubo mineral a serem aplicadas em cobertura: 290 kg ha^{-1} de N, 50 kg ha^{-1} a 110 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 120 kg ha^{-1} a 350 kg ha^{-1} de K_2O. A partir desses dados, foram simuladas nas Tabelas 8, 9 e 10 as quantidades necessárias de adubos minerais para serem aplicadas via fertirrigação.

Tabela 8. Quantidades de nitrogênio na forma mineral a serem aplicadas em cada fertirrigação.

Período após o plantio (dias)	Quantidade de N (kg ha^{-1})		
	Total 289,90	Frequência de aplicação (3 dias)	Frequência de aplicação (7 dias)
0–90	12,20	0,51	1,02
91–150	23,60	1,48	2,96
151–240	163,30	6,81	13,61
241–360	90,80	2,84	5,67

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

Tabela 9. Quantidades de potássio (K_2O) na forma mineral a serem aplicadas em cada fertirrigação.

Período após o plantio (dias)	Quantidade de K_2O (kg ha^{-1})		
	Total	Frequência de aplicação	Frequência de aplicação

	120–350	(3 dias)	(7 dias)
0–120	10,31–30,09	0,32–0,94	0,64–1,88
121–180	17,02–49,66	1,06–3,10	2,13–6,21
181–270	62,00–180,84	2,58–7,53	5,17–15,07
271–360	30,65–89,39	1,27–3,72	2,55–7,45

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

Tabela 10. Quantidades de fósforo (P_2O_5) na forma mineral a serem aplicadas em cada fertirrigação.

Período após o plantio (dias)	Total (50–110)	Quantidade de P_2O_5 (kg ha^{-1})
	Total 50–110	Frequência de aplicação (30 dias)
0–180	7,63–16,80	1,27–2,80
181–300	35,58–78,27	8,89–19,57
301–360	6,78–14,92	3,39–7,46

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

Diagnose foliar

A diagnose foliar consiste em método de avaliação por meio de análise química das folhas e de aspectos visuais que indiquem anomalia das plantas, sendo uma importante ferramenta para o acompanhamento do estado nutricional da plantação. Para que seja utilizada adequadamente, é necessário que se observem principalmente a época de amostragem e a posição das folhas coletadas. Para o mamoeiro, existem controvérsias quanto ao tecido que melhor represente o seu estado nutricional. Diversos autores estabeleceram os índices nutricionais tomando como base o limbo foliar (Tabela 11).

Tabela 11. Teores padrões de macronutrientes e micronutrientes no limbo foliar do mamoeiro, indicados por alguns autores.

Nutriente	Cunha (1979)		Agarwala et al. (1986) e Nautiyal et al. (1986)		Cibes e Gaztambide (1978)		Prezotti (1992)
Macronutriente	C[(1)]	D[(1)]	C	D	C	D	Adequado
				(g kg^{-1})			
N	42,4	36,1	-	-	22,5	19,6	45–50
P	5,2	1,4	-	-	8,2	1,4	5–7
K	38,1	13,6	-	-	15,8	4,0	25–30
Ca	12,9	2,8	-	-	36,1	14,8	20–22
Mg	6,5	1,7	-	-	12,1	3,0	10
S	3,1	3,4	-	-	12,1	5,4	4–6
Micronutriente	C[(1)]	D[(1)]	C	D	C	D	Adequado
				(mg kg^{-1})			
B	136	20	17,3	6,7	109	26	15
Fe	-	-	140,0	85,0	252	140	291
Mn	-	-	62,7	4,5	88	16	-
Zn	-	-	22,4	13,0	-	-	43
Cu	-	-	11,8	6,4	-	-	11
Mo	-	-	1,85	0,14	-	-	-

[(1)] C = solução nutritiva completa, com todos os nutrientes.
D = solução nutritiva deficiente, com omissão do nutriente em estudo.

Para o pecíolo, Awada (1969, 1976, 1977), Awada e Long (1969, 1971a, 1971b, 1978), Awada e Suehisa (1984) e Awada et al. (1975) indicam os seguintes níveis padrões, em dag kg^{-1}: 1,25 a 1,45 para N, 0,16 a 0,25 para P, 3,61 para K e 0,73 a 0,93 para Ca.

Em estudos desenvolvidos na região produtora de mamão do norte do Espírito Santo, foram estabelecidos padrões de referências para o desenvolvimento do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação para o Mamoeiro (Dris), Tabe la 12. Nesses estudos, Costa (1995) determinou para o pecíolo as melhores

correlações com vista à determinação do estado nutricional da planta. Verificou que a quantidade de água disponível para as plantas também influenciou os teores de nutrientes nas folhas do mamoeiro, de maneira que a época seca apresentou índices nutricionais mais bem ajustados. Esses índices podem ser utilizados para acompanhar a absorção dos nutrientes pelas plantas e adequar o modelo de adubação adotado.

Tabela 12. Teores padrões de macronutrientes e micronutrientes no pecíolo do mamoeiro, nas épocas seca e chuvosa.

Época	Macronutriente					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg^{-1})					
Seca	11,0	1,7	28,1	18,4	5,3	2,6
Chuvosa	26,4	1,6	24,9	16,5	5,7	3,2
Época	**Micronutriente**					
	B	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**	
	(mg kg^{-1})					
Seca	25,20	2,40	51,00	41,70	15,30	
Chuvosa	23,10	2,90	43,30	42,90	10,50	

Fonte: Costa (1995).

As folhas para análise química devem ser amostras de uma mesma cultivar, de plantas com a mesma idade e que representem a média da plantação em termos de crescimento e produtividade. Devem-se retirar apenas as folhas que apresentarem em sua axila uma flor prestes a abrir ou recentemente aberta, com um mínimo de 12 folhas por amostra. Separar o limbo do pecíolo e analisar um deles. Posteriormente, comparar com os teores padrões aqui apresentados.

Referências

AGARWALA, S. C.; NAUTIYAL, B. D.; CHATTERJEE, C. Manganese, copper and molybdenum nutrition of papaya. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 61, n. 3, p. 397-405, 1986.

AIYELAAGBE, I. O. O.; FAWSI, M. O. A.; BABALOLA, O. Growth, development and yield of pawpaw (Carica papaya L.) 'Homestead selection' in response to soil moisture stress. **Plant and Soil**, The Hague, v. 93, p. 427-435, 1986.

ANGELOCCI, L. R. **Estimativa da transpiração máxima de macieiras (Malus spp) em pomares pelo método de Penman-Monteith**. 1996. 75 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

AWADA, M. Relation of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization to nutrient composition of the petiole and growth of papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 102, n. 4, p. 413-418, 1977.

AWADA, M. Relation of phosphorus fertilization to petiole phosphorus concentrations and vegetative growth of young papaya plants. **Tropical Agriculture**, Saint Augustine, v. 53, p. 173-181, 1976.

AWADA, M. The selection of the nitrogen index in papaya tissue analysis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 94, n. 6, p. 687-690, 1969.

AWADA, M.; LONG, C. Relation of nitrogen and phosphorus fertilization to fruiting and petiole of Solo papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 103, p. 217-219, 1978.

AWADA, M.; LONG, C. Relation of petiole levels to nitrogen fertilization and yield of papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 96, n. 6, p. 745-749, 1971a.

AWADA, M.; LONG, C. The selection of the phosphorus index in papaya tissue analysis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 94, n. 5, p. 501-504, 1969.

AWADA, M.; LONG, C. The selection of the potassium index in papaya tissue analysis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 96, n. 1, p. 74-77, 1971b.

AWADA, M.; SUEHISA, R. Effects of calcium and sodium on growth of papaya plants. **Tropical Agriculture**, Saint Augustine, v. 61, n. 2, p. 102-105, 1984.

AWADA, M.; SUEHISA, R.; KANEHIRO, Y. Effects of lime and petiole composition of papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 100, n. 3, p. 294-298, 1975.

AWADA, M.; WU, I. P.; SUEHISA, R. H.; PADGETT, M. M. **Effects of drip irrigation and fertilization on vegetative growth, fruit yield, and mineral composition of the petioles and fruits of papaya**. Honolulu: Hawaii Agricultural Experiment Station-University of Hawaii, 1979. 20 p. (Boletim Técnico, 103).

CHANDRA, S. P.; RAI, A. K. Nonlinear root: water uptake model. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 4, p. 198-202, 1996.

CIBES, H. R.; GAZTAMBIDE, S. Mineral-deficiency symptoms displayed by papaya grown under controlled conditions. **Journal Agriculture University of Puerto Rico**, Río Piedras, v. 62, p. 413-423, 1978.

COELHO FILHO, M. A.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Transpiração máxima de plantas de mamão (Carica Papaya L.) em pomar fertirrigado, nas condições de Cruz das Almas, BA. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Viçosa: ABID, 2003a. 1 CD-ROM.

COELHO FILHO, M. A.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F.; CRUZ, J. L. Uso mínimo de água de um pomar irrigado de mamão Tainung Nº 1 nas condições dos tabuleiros costeiros. In: MARTINS, D. dos S. (Ed.). **Papaya Brasil**: qualidade do mamão para o mercado interno.Vitória: Incaper, 2003b. p. 511-514.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; CRUZ, J. L. **Uso da transpiração máxima de mamoeiro para o manejo irrigação por gotejamento em regiões úmidas e sub-úmidas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 29 p. (Documentos, 106).

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; CRUZ, J. L.; SOUZA, L. F. da S.; OLIVEIRA, A. M. de; SILVA, T. S. M. da. Marcha de absorção de macro e micronutrientes do mamoeiro sunrise solo. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. N.; COSTA A. F. S. (Ed.). **Papaya Brasil**: manejo, qualidade e mercado do mamão. Vitória: Incaper, 2007. p. 29-40.

COELHO, E. F.; ALVES, A. A.; CRUZ, J. L. **Irrigação do mamoeiro**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2003a. 8 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Circular Técnica, 54).

COELHO, E. F.; LIMA, D. M.; FARIAS, M. A. A.; CALDAS, R. C. Crescimento do mamoeiro cultivar Tainung Nº1 sob diferentes regimes de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. **Anais**... Uberlândia: ABID, 2002a. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; LIMA, D. M.; QUEIRÓZ, J. S.; CALDAS, R. C.; FARIAS, M. A. A. Crescimento do mamoeiro Sunrise Solo sob irrigação em Tabuleiros. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. **Anais**... Uberlândia: ABID, 2002b. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes do mamoeiro sob três freqüências de irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO NACIONAL

DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Viçosa: ABID, 2003b. 1 CD-ROM.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de microirrigação em solos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Viçosa: ABID, 2003c. 1 CD-ROM.

COSTA, A. N. da. **Uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (Carica papapya L.) no Estado do Espírito Santo**. 1995. 95 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CUNHA, R. J. P. **Marcha de absorção de nutrientes em condições de campo e sintomatologia de deficiências de macronutrientes e do boro em mamoeiro**. 1979. 131 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GREGORY, P. J. Development and growth of root systems in plant communities. In: GREGORY, P. J.; LAKE, J. V.; ROSE, D. A. (Ed.). **Root development and function**. New York: Cambridge University Press, 1987. p. 147-166.

HARKNESS, W. **Papaya growing in Florida**. Gainesville: University of Florida, 1967. 15 p.

HAYHOE, H. Analysis of a diffusion model for plant root growth and an application to plant soil- water uptake. **Soil Science**, Baltimore, v. 131, n. 6, p. 334-343, 1981.

KLEPPER, B. Origin, branching and distribution of root systems. In: GREGORY, P. J.; LAKE, J. V.; ROSE, D. A. (Ed.). **Root development and function**. New York: Cambridge University Press, 1987. p. 103-123.

LORDELO, C. M. M.; COELHO, E. F.; ALVES, A. A. C.; QUEIRÓZ, J. S. Crescimento do mamoeiro sob diferentes níveis de irrigação em condições semi-áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. **Os novos desafios da fruticultura brasileira**. Belém: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2002.1 CD-ROM.

MARLER, T. E.; GEORGE, A. P.; NISSEN, R. J.; ANDERSEN, P. C. Miscellaneous tropical fruits. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC, 1994. v. 2, p. 199-224.

NAUTIYAL, B. D.; SHARMA, C. P.; AGARWALA, S. C. Iron, zinc and boron deficiency in papaya. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, NL, v. 29, n. 1/2, p. 115-123, 1986.

OLIVEIRA, A. M. G. Mamão. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 114-121.

PREZOTTI, L. C. **Recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**: 3. aproximação. Vitória: Emcapa, 1992. 73 p. (Emcapa. Circular Técnica, 12).

SANTOS, D. B.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; SILVA, T. S. M.; LIMA, D. M. Pegamento e crescimento de frutos de mamoeiro cv. Tainung Nº1 sob diferentes níveis de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Uso competitivo da água e a preservação dos recursos naturais para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada**. Fortaleza: ABID, 2001. v. 1, p. 241-245.

SILVA, J. G. F. **Efeitos de diferentes lâminas e freqüências de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade do mamoeiro (Carica papaya L.)**. 1999. 90 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; LIMA, D. M.; SANTOS, D. B. Absorção de água pelo sistema radicular do mamoeiro irrigado por diferentes sistemas de microirrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Uso competitivo da água e a preservação dos recursos naturais para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada**. Fortaleza: ABID, 2001. v. 1, p. 6-11.

SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; CRUZ, J. L.; COELHO FILHO, M. A. Efeito da temperatura do ar e de diferentes lâminas de irrigação sob o índice de floração e pegamento de frutos do mamoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Juazeiro: ABID, 2003. 1 CD-ROM.

SRINIVAS, K. Plant water relations, yield, and water use of papaya (Carica papaya L.) at different evaporation-replenishment rates under drip irrigation: Trinidad. **Tropical Agriculture**, Saint Augustine, v. 73, n. 4, p. 264-269, 1996.

VIEIRA, D. B.; GENOVEZ, A. M.; GOMES, E. M. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 1996, Campinas. **Anais..**. Campinas: ABID, 1996. p. 95-106.

Capítulo 16

Irrigação e fertirrigação na cultura da manga

José Maria Pinto
Davi José da Silva
Eugênio Ferreira Coelho

Introdução

A irrigação teve avanço considerável nas últimas décadas tanto no que diz respeito ao aprimoramento de novos métodos de se levar água ao solo e às culturas, como no incremento de novas áreas irrigadas. Entre as vantagens da irrigação, está aquela que possibilita utilizar o próprio sistema de irrigação como meio condutor e distribuidor de produtos químicos como fertilizantes, inseticidas, herbicidas, nematicidas e reguladores de crescimento, simultaneamente com a água de irrigação, prática conhecida atualmente como “quimigação”.

Fertirrigação é a aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Trata-se de uma técnica de aplicação simultânea de fertilizantes e água por meio de um sistema de irrigação. Caracteriza-se por ser uma prática agrícola essencial ao manejo de culturas irrigadas quando se utilizam sistemas de irrigação localizada, e por ser uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicar fertilizante às

plantas, principalmente em regiões de climas árido e semiárido. Aplicando-se os fertilizantes em menor quantidade por vez, mas com maior frequência, é possível manter um teor uniforme de nutrientes no solo durante o ciclo da cultura, o que aumentará a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e, consequentemente, a sua produtividade.

A agricultura irrigada no Nordeste brasileiro desempenha um papel significativo no desenvolvimento regional. A irrigação exige um alto padrão tecnológico, que tem por objetivo proporcionar a melhor oportunidade de aplicação de novas tecnologias, e a redução de custos dessas tecnologias precisa ser estudada em profundidade.

A mangueira é uma planta cultivada em todo o mundo, em diversas condições de solo e de clima. Muitas vezes, o desconhecimento do solo e, principalmente, da exigência nutricional da planta leva à prática de adubação inadequada, e isso afetará significativamente tanto o desenvolvimento quanto a produtividade da mangueira.

Embora a fertirrigação apresente vantagens, existe uma carência de informações sobre período de aplicação, frequência, doses e tipos de fertilizantes para a maioria das culturas irrigadas.

Com o objetivo de gerar tecnologias para áreas irrigadas, a Embrapa vem desenvolvendo pesquisas para solucionar os problemas e definir critérios técnicos da aplicação de fertilizantes por meio de sistemas de irrigação.

Métodos de irrigação

A cultura da manga em condições irrigadas vem sendo praticada principalmente no Semiárido, onde os recursos hídricos são escassos e a racionalidade no uso da água é um imperativo, isto é, a eficiência da irrigação deve ser a maior possível. Com relação a esse aspecto, o método de irrigação por superfície, que, em geral, é considerado de eficiência menor que os métodos pressurizados, tem sido o menos adotado.

A irrigação por aspersão, além do maior consumo de energia, apresenta eficiência de aplicação entre 50% e 75%, o que indica perdas significativas de água (ALLEN, 1992). Valores baixos do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) devem-se à interceptação do jato d'água pela copa das plantas e ao umedecimento das entrelinhas (100% de área molhada), o que favorece o desenvolvimento de plantas daninhas. Tais desvantagens agravam-se na floração, quando os jatos podem causar redução do número de panículas e afugentar os insetos polinizadores (SILVA et al., 1996).

O sistema de irrigação mais comumente usado para a mangueira é a microaspersão, principalmente pela maior área molhada que proporciona em relação ao gotejamento em solos de textura média a arenosa (ALLEN, 1992). Os sistemas de microaspersão geram eficiência de aplicação entre 70% e 95%. Os microaspersores apresentam vazões entre 15 L h^{-1} e 200 L h^{-1}, e operam com pressões na faixa de 80 KPa a 350 kPa.

O sistema de gotejamento é também de alta eficiência (70% a 95%) e de menor demanda de energia, embora o custo inicial seja alto. Para mangueiras com espaçamento de 8 m x 5 m, oito a dez gotejadores por planta resultam em porcentagens de área molhada

acima de 20% em solos não arenosos. Pode-se usar apenas uma linha de gotejadores por fileira, disposta em anel ao redor da planta (Figura 1), com os gotejadores igualmente espaçados, ou uma ramificação por planta (rabo de porco).



Figura 1. Disposição da linha lateral de irrigação em anel no entorno da mangueira.

Foto: Eugênio Ferreira Coelho

No Semiárido, é necessário o uso de duas linhas laterais de gotejadores por fileira de plantas. Em solos de textura arenosa, sem gradientes texturais que retenham a infiltração no perfil, a microaspersão é aconselhável. Entretanto, apesar da diferença de área molhada entre os dois sistemas de irrigação localizada, não se pode afirmar de forma generalizada que a microaspersão seja a mais adequada à cultura da manga. O uso do gotejamento, em

alguns casos, tem propiciado produtividades similares às obtidas com o emprego da microaspersão.

Necessidades hídricas

As necessidades de irrigação da mangueira devem ser determinadas com base em avaliações do solo e do clima. Entretanto, devem ser feitas correções em razão do estádio de vida e da fenofase da planta. Soares e Costa (1995) recomendaram, para as condições do Semiárido, diferenciar o manejo de aplicação da água à mangueira em seis períodos distintos: pré-plantio, plantio e desenvolvimento inicial, desenvolvimento, repouso fenológico, estresse hídrico e reinício da irrigação. A irrigação é necessária em todas as fases, exceto no final do repouso fenólogico, quando o estresse hídrico do solo retarda o crescimento das gemas vegetativas e colabora com o crescimento das gemas florais. A irrigação não é recomendável durante a diferenciação do broto floral e deve iniciar-se a partir da emergência da panícula (após a diferenciação do broto floral). A demanda hídrica ocorre de maneira mais crítica para a manga no período de 4 a 6 semanas após o estabelecimento dos frutos.

No que se refere à evapotranspiração da cultura da manga (ETc), experimentos na África do Sul mostraram que o total anual de água exigido por uma cultura adulta (12 anos) foi de 1.197 mm, com demanda média que variou de 2,2 mm dia^{-1} no inverno a 4,4 mm dia^{-1} no verão (MOSTERT; WANTENAAR, 1994).

No Brasil, as pesquisas sobre evapotranspiração da mangueira são recentes e limitam-se a poucas regiões produtoras. A mangueira na região semiárida do Nordeste brasileiro requer aproximadamente 1.370 mm de água por ano (SILVA et al., 1996), ou seja, 13.700 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Lopes (1999) avaliou a ET de mangueiras de 6 anos de idade na região do Submédio São Francisco por meio do balanço de massa (balanço hídrico) e do balanço de energia (razão de Bowen). O estudo cobriu o período de julho a dezembro de 1998. Segundo o autor, o método da razão de Bowen subestimou a ET da cultura (3,4 mm dia^{-1} a 6,1 mm dia^{-1}) em relação ao balanço hídrico (3,6 mm dia^{-1} a 10,1 mm dia^{-1}).

Em Petrolina, PE, Silva (2000) empregou os métodos do balanço de energia e do balanço hídrico no solo na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras cv. Tommy Atkins, espaçadas em 8 m x 5 m, com 6 anos de idade. Para o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo), foi utilizado o método de Penman-Monteith. As fases fenológicas durante o ciclo produtivo de 1999 foram: floração (de 10 a 30 de junho); queda de frutos (de 1º de julho a 9 de agosto); formação de frutos (de 10 de agosto a 30 de setembro); maturação (de 1º de outubro a 9 de novembro). Para esses períodos fenológicos, os valores médios de ET da cultura (ETc) foram, respectivamente, 3,5, 3,8, 4,5 e 4,9 mm dia^{-1} pelo método do balanço de energia, e 2,3, 3,2, 4,0 e 4,6 mm dia^{-1} pelo método do balanço hídrico.

No entanto, a evapotranspiração diária, obtida pelo método do balanço de energia, variou de 3,0 mm dia^{-1}, no início da floração, a 5,5 mm dia^{-1} durante a formação de frutos; decresceu para 3,7 mm dia^{-1} no início do estádio fenológico de maturação em razão do total pluviométrico registrado no período e, em seguida, apresentou

tendência crescente acentuada, chegando a superar a taxa de 5,0 mm dia^{-1} no final desse estádio fenológico. O consumo total foi de 642,9 mm, com uma média diária de 4,3 mm.

Com relação ao balanço hídrico no solo, a evapotranspiração aumentou de 2,4 mm dia^{-1} (início da floração e ainda sem irrigação) para 7,9 mm dia^{-1}, no final da formação dos frutos, decrescendo em seguida para 3,5 mm dia^{-1} na maturação dos frutos. Durante o ciclo produtivo (início da floração à maturação), a ETc totalizou 612,4 mm, com uma média de 4,1 mm dia^{-1}.

Os valores do coeficiente de cultura (Kc) obtidos para o pomar de mangueiras pelo método do balanço hídrico no solo, em razão do número de dias após a floração (DAF), são apresentados na Figura 2. A equação 1, ajustada aos dados, permite a estimativa do Kc conhecendo-se o DAF.

$$Kc = 0{,}36 + 0{,}009DAF - 4 \times 10^{-5} \times DAF^2 \qquad (r^2 = 0{,}79) \qquad (1)$$

Com o método do balanço hídrico no solo, o Kc observado do pomar de mangueiras aumentou de 0,39 no estádio fenológico de floração para 0,85 no meio do estádio fenológico de formação de frutos, quando a planta encontrava-se em seu desenvolvimento vegetativo máximo. Em seguida, esse valor decresceu para 0,58 durante a maturação de frutos. A média do coeficiente de cultura do pomar de mangueiras foi de 0,71.

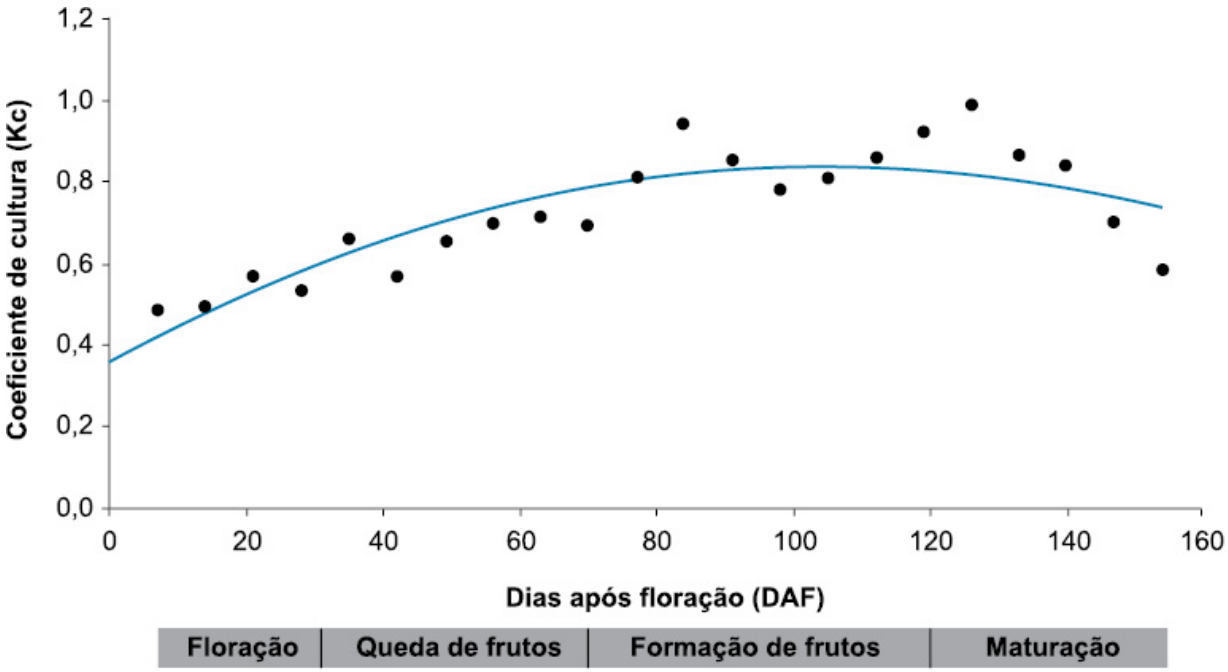


Figura 2. Comportamento do coeficiente de cultura ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. Tommy Atkins, em Petrolina, PE, obtido pelo método do balanço hídrico no solo, em 1999.

Fonte: Silva (2000).

A Tabela 1 apresenta sugestões de *Kc* para as condições semiáridas brasileiras, considerando as fases de formação, de vegetação e de produção.

Tabela 1. Valores de *Kc* para a mangueira em condições semiáridas.

Ano 1	Ano 2	Ano 3	Acima de 3 anos				
			Fase vegetativa	Dias a partir do início da floração			
				40 dias	90 dias	120 –145 dias	>145 dias
0,40	0,45	0,50	0,65	0,80	0,95	1,00	0,80

Fonte: adaptada de Silva (2000).

Distribuição de raízes sob irrigação

Os padrões de distribuição do sistema radicular da mangueira ou de qualquer cultura são consequência das interações entre fatores genéticos inerentes à cultura e às disponibilidades de água e de nutrientes no solo (CLAUSNITZER; HOPMANS, 1994). A distribuição de água no solo depende principalmente do método e do sistema de irrigação em uso, que são responsáveis pela geometria de escoamento no meio poroso, pelo manejo da irrigação, pelo volume de água aplicado, pelas propriedades físicas do solo e de sua distribuição espacial e pela atividade das raízes no solo.

A distribuição de raízes pela mangueira tem sido mais abordada em condições não irrigadas do que irrigadas. De certa forma, tem havido concordância entre os autores quanto à definição dos padrões de distribuição das raízes da cultura. A distribuição de raízes de três cultivares de manga (‘Haden’, ‘Kent’ e ‘Diplomático’) em solo arenoso e irrigado por gotejamento, avaliada por Medina (1983), mostrou maior densidade de raízes para a cultivar Haden na camada de 0,2 m a 0,4 m. As cultivares Kent e Diplomático apresentaram maior densidade de raízes na camada de 0 m a 0,2 m.

A avaliação do sistema radicular de mangueiras de 11 anos de idade na Venezuela mostrou que a região de maior concentração de raízes correspondeu àquela limitada pelo raio de 1,5 m a partir do tronco e pelas profundidades entre 0,3 m e 0,5 m (AVILÁN ROVIRA et al., 1978). Em mangueiras de 8 anos de idade na região de Bangalore, na Índia, as raízes ativas localizaram-se a distâncias radiais do tronco de 1,0 m a 1,5 m e a 0,6 m de profundidade a partir da superfície (KOTUR et al., 1997).

Estudo sobre o sistema radicular da mangueira ‘Tommy Atkins’, sob irrigação por aspersão subcopa em solo arenoso no Submédio São Francisco, indicou que 68% das raízes de absorção e 86% das de sustentação localizaram-se horizontalmente na faixa de 0,9 m a 2,6 m em relação ao caule, e verticalmente na profundidade de até 1,0 m. Na distribuição vertical, 65% das raízes de absorção e 56% das de sustentação ocorreram nas profundidades do solo de 0 m a 0,6 m. Os autores recomendaram conclusivamente a localização dos fertilizantes na faixa de 0,9 m a 2,6 m de distância do caule. Recomenda-se o monitoramento da água do solo na distância de 2,6 m do caule e nas profundidades de 0,3 m a 0,6 m (CHOUDHURY; SOARES, 1992).

Coelho et al. (2001) avaliaram a distribuição de raízes de mangueiras sob irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) em solo arenoso de Tabuleiros Costeiros. Em geral, no sistema de gotejamento, a distribuição de raízes da planta limitou-se a uma distância horizontal de 3,5 m do tronco e a uma profundidade de 1,4 m. Os máximos valores de densidade de comprimento de raízes foram observados a profundidades de até 0,7 m e a distâncias horizontais médias do tronco de 2,1 m (Figura 3).

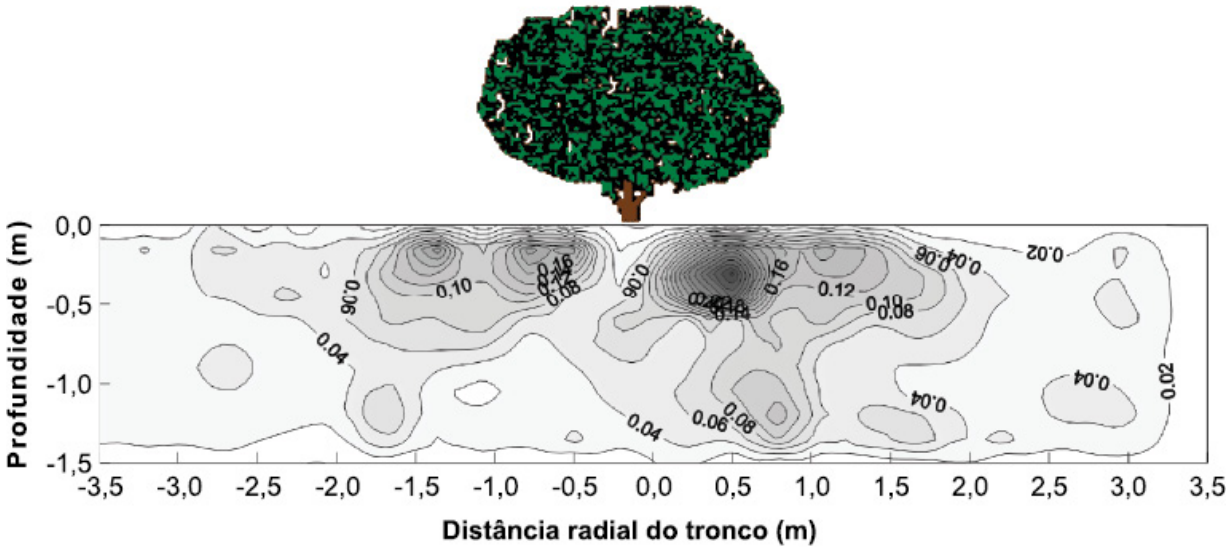


Figura 3. Distribuição da densidade de comprimento de raízes (cm cm^{-3}) no perfil do solo, sob gotejamento, em manga 'Tommy Atkins'.

Fonte: Coelho et al. (2001).

A distribuição das raízes, no caso da microaspersão, foi limitada pela distância de 3,0 m do tronco. As maiores densidades de comprimento ocorreram em profundidades de 0 m a 1,4 m para distâncias radiais do tronco inferiores a 1,5 m, e em profundidades de 0 m a 0,6 m para distâncias radiais do tronco entre 1,5 m e 3,0 m (Figura 4).

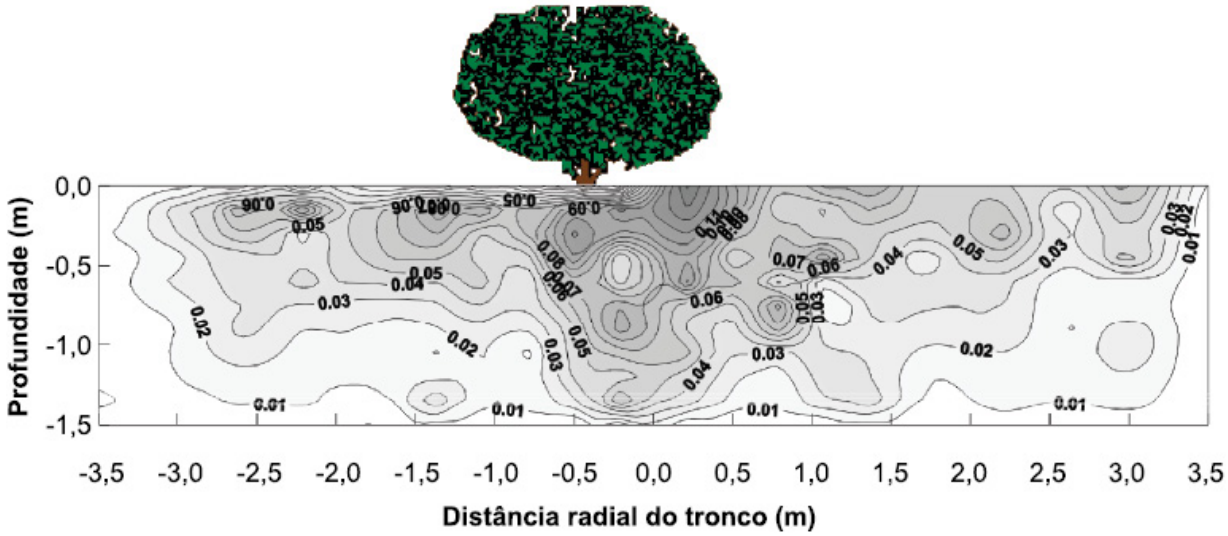


Figura 4. Distribuição da densidade de comprimento de raízes (cm cm^{-3}) no perfil do solo sob microaspersão.

Fonte: Coelho et al. (2001).

Extração de água pelo sistema radicular

A distribuição de água no volume molhado do solo, resultante de irrigação por microaspersão, foi avaliada por Coelho et al. (2001) para diferentes regimes de irrigação aplicados à manga cultivar Tommy Atkins, nas condições de Teresina, Piauí. As isolinhas de extração de umidade nos planos verticais e radiais à planta avaliados mostraram que a região limitada pela distância radial de 0,80 m da planta, e entre as profundidades 0,20 m e 0,70 m, concentrou em todos os casos maior atividade do sistema radicular. O centro da atividade localizou-se à distância de 0,50 m da planta (Figura 5).

Os totais da extração de água em todas as profundidades, tomados a cada distância radial monitorada, mostraram que 60% a 70% da água é extraída pelas plantas até a distância radial de 1,50 m, enquanto 80% a 85% são extraídos até a distância de 2,00 m da planta (Figura 6). Os totais da extração de água em todas as distâncias radiais a cada profundidade monitorada mostraram para todos os tratamentos que 40% a 50% da água é extraída pelas plantas até a profundidade de 0,50 m, enquanto 60% a 80% são extraídos até a profundidade 0,75 m do solo (Figura 7).

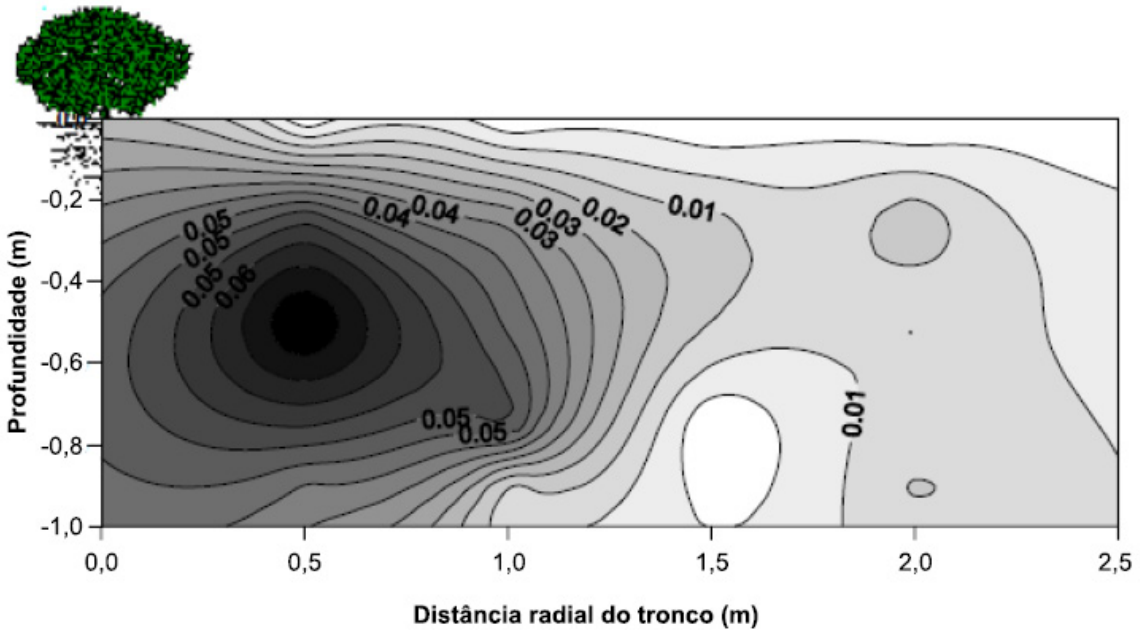


Figura 5. Distribuição dos teores equivalentes à extração de água do solo num plano bidimensional, radial à planta e ao microaspersor, 216 horas após a irrigação.

Fonte: Coelho et al. (2001).

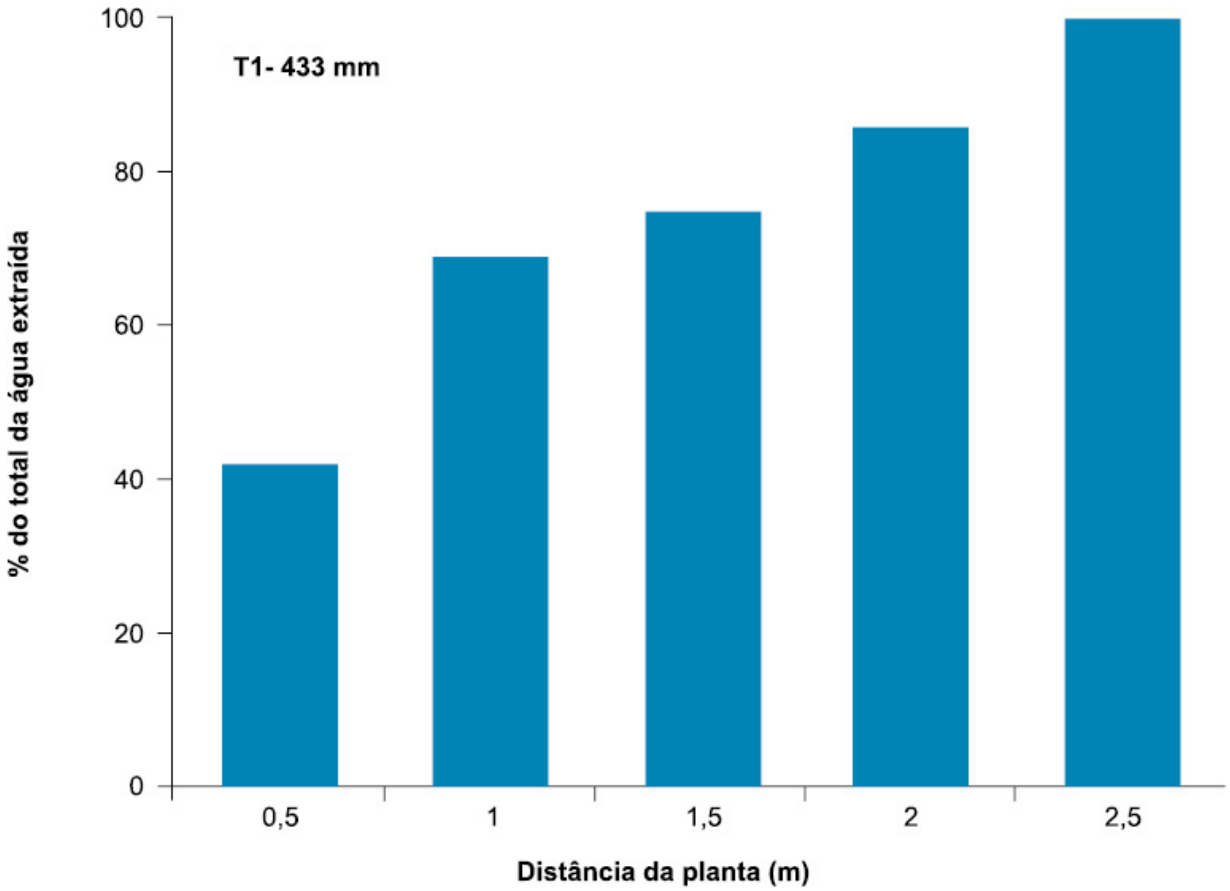


Figura 6. Porcentagens da extração total de água do solo em razão da distância radial da planta, incluindo, para cada distância, todas as profundidades monitoradas.

Fonte: Coelho et al. (2001).

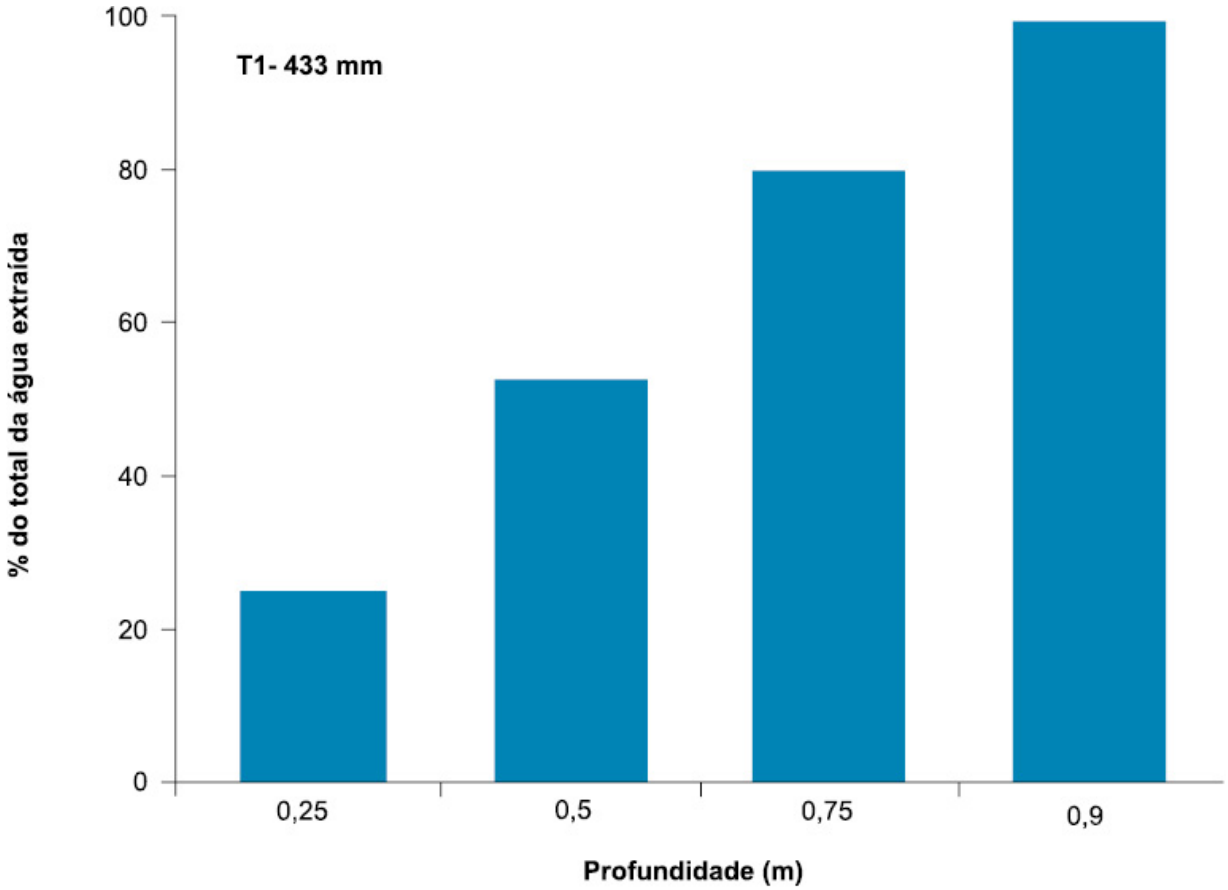


Figura 7. Porcentagens da extração total de água do solo em razão da profundidade do solo, incluindo, para cada profundidade, todas as distâncias radiais monitoradas.

Fonte: Coelho et al. (2001).

As camadas de solo mais profundas também podem contribuir para o processo de evapotranspiração da mangueira em consequência da presença de raízes em grande profundidade (2 m). Silva et al. (2001) observaram que houve a ascensão de água de 1,2 m e 1,4 m de profundidade durante a maturação dos frutos, quando ocorreu um grande consumo de água pelas mangueiras da cv. Tommy Atkins em Latossolo Vermelho Amarelo, com textura média, no Perímetro Irrigado de Bebedouro, em Petrolina, PE.

Manejo da irrigação

O manejo ou programação da irrigação envolve técnicas que auxiliam o mangicultor a definir o momento de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada. O emprego de um ou mais métodos de manejo na propriedade é parte da agricultura moderna que busca garantir altas produtividades, pois reduz o desperdício de água e de energia e, ao mesmo tempo, melhora a qualidade dos frutos produzidos. Diferentes níveis de água no solo não afetam a coloração dos frutos, nem a incidência de colapso interno (FARRÉ et al., 1993). O manejo da irrigação que mantém o solo em tensões maiores implica maiores intervalos de irrigação e maior deficit hídrico no solo, o que promove frutos menores e em maior tamanho (MOSTERT; WANTENAAR, 1994).

O cálculo da quantidade de água a ser aplicada, quando se usa o método do turno de rega (TR), deve considerar que o TR na fase de elaboração do projeto de irrigação é calculado levando-se em conta o pico da ETc dentro do ciclo da cultura. No entanto, para fins de manejo, comumente se usa um valor de ETc a partir de um valor médio de ETo para períodos, por exemplo, de 15 dias, 30 dias, ou mais, levando, portanto, a um TR fixo dentro do correspondente período. Deve-se lembrar, no entanto, que a fixação do TR dentro de um período quinzenal, mensal, anual ou durante todo o ciclo da cultura pode levar à aplicação excessiva de água em época de menor demanda ou à aplicação deficitária em época de maior demanda. Isso ocorre porque z, e especialmente a ETc, variam continuamente com o tempo. Portanto, o irrigante deve estar ciente

das limitações da fixação do TR, apesar da sua praticidade para fins de manejo da irrigação.

O fator de reposição f corresponde à variação máxima permitida da disponibilidade total de água no solo, sem afetar significativamente o desenvolvimento da cultura em qualquer uma de suas fases fenológicas. O valor de f a ser adotado depende da importância econômica da cultura, do estádio fenológico (vegetativo, floração, etc.), da profundidade e da distribuição das raízes e da sensibilidade ao estresse. Soares e Costa (1995) sugerem para a mangueira, como no caso de outras fruteiras, um valor de f igual a 50%. Azzouz et al. (1977) estudaram a produtividade de mangueiras para uma redução máxima de 33% durante o período crítico (floração à colheita) e de 66% da disponibilidade total de água no restante do ano.

O momento da irrigação pode ser determinado de forma mais flexível, sem estar amarrado a um valor fixo da lâmina real necessária, isto é, pode ser determinado por meio de medidas do estado da água do solo, em que se monitora o teor de água ou o seu potencial matricial, verificando-se se a variação da água disponível para as plantas está dentro da fração de manejo recomendada, representada pelo fator de reposição de água f.

O estado da água no solo pode ser quantificado com o uso de instrumentos de medição de umidade (sonda de nêutrons, reflectômetros) que funcionam por meio do uso dos princípios da reflectometria no domínio do tempo (TDR) e da reflectometria no domínio da frequência (FDR), ou com o uso de instrumentos de medida do potencial de água do solo (tensiômetros e blocos de resistência).

Um ponto importante a ser observado com relação aos sensores em geral diz respeito à sua localização em relação às plantas e às profundidades de leitura no perfil do solo. Como regra, devem-se instalar os sensores no centro de atividade do sistema radicular ou numa região do sistema radicular representativa do cenário geral de extração de água. As posições mais adequadas de instalação de sensores de água do solo para irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) devem situar-se entre 0 m e 2 m do tronco e nas profundidades entre 0 m e 0,6 m (COELHO et al., 2001). No caso da irrigação subcopa, recomenda-se a instalação dos sensores à distância de 0,9 m a 2,6 m da planta e a profundidades iguais ou inferiores a 0,6 m (SOARES; COSTA, 1995).

Uso da regulação do deficit de irrigação

O uso excessivo de água na irrigação tem reduzido os ganhos econômicos dos produtores em razão do aumento de custos com energia de bombeamento, sem efetivamente aumentar a produtividade do pomar. A mangueira é uma planta que tem características fisiológicas de adaptação ao deficit hídrico, adaptação essa que está relacionada à eficiente capacidade de regular a perda de água por meio dos estômatos e da capacidade de se ajustar osmoticamente, mantendo a turgescência e níveis mais elevados de potenciais de água na folha quando em deficiência hídrica (SCHAFFER et al., 1994). A habilidade de resistir a períodos prolongados de estresse hídrico torna a mangueira uma

planta com baixa necessidade hídrica durante o ano produtivo, quando comparada a outras culturas.

A regulação do deficit de irrigação (*RDI*) é um manejo de irrigação utilizado em fruteiras, aplicado durante a fase de crescimento de frutos, em que se observa que é possível a redução de gastos de água e energia sem grandes prejuízos na qualidade e na produtividade de pomares.

A mangueira no Semiárido apresenta um período de crescimento de frutos que pode ser dividido em três fases: a) fase 1, do início da floração até o pegamento completo dos frutos, que acontece ao redor de 65 dias após o início da floração (DAF); b) fase 2, que compreende a expansão do fruto, e ocorre até aproximadamente 95 DAF; c) fase 3, do final do crescimento até a maturação fisiológica do fruto, que ocorre ao redor dos 120 DAF.

Trabalho conduzido por Coelho Filho e Coelho (2005), aplicando diferentes níveis de redução da lâmina calculada na mangueira nas três fases, mostrou que a fase 1 não é adequada à redução da irrigação. A fase menos sensível é a fase 3. Nas fases 2 e 3, os níveis de irrigação podem ser reduzidos em até 20% da lâmina calculada pelos métodos convencionais, com perdas próximas de 16% na produtividade.

Exigências nutricionais da mangueira

Estudos realizados por Avilán Rovira (1983) demonstraram que os macronutrientes encontrados em maior concentração nos frutos são

o potássio (60 g kg^{-1}) e o nitrogênio (57 g kg^{-1}), seguidos em ordem decrescente pelo cálcio (51 g kg^{-1}), magnésio (28 g kg^{-1}) e fósforo (7,7 g kg^{-1}) (Tabela 2). Entre os micronutrientes, o ferro é o que apresenta maior teor, seguido pelo manganês, cobre, zinco e boro.

Tabela 2. Concentrações de macro e de micronutrientes na matéria seca de folhas de mangueira.

Variedade	Macronutriente					Micronutriente				
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Zn	Cu	Fe
	(g kg^{-1})					(mg kg^{-1})				
Glenn	41	11,0	54	53	19	46	7	19	30	84
Tommy Atkins	77	18,5	55	48	42	55	14	20	31	39
Irwin	40	14,8	64	74	28	54	7	18	24	56
Harris Sdg	46	5,2	53	43	28	35	8	22	27	82
Smith	71	8,3	64	56	20	55	10	28	28	110
Haden	33	6,7	71	45	20	91	8	22	33	39
Zill	65	5,1	42	44	26	15	9	21	37	95
Carrie	63	5,9	56	55	28	56	10	21	19	51
Manga Criolla	103	7,4	95	43	41	48	8	23	23	45
Edward	66	3,1	46	61	39	67	9	22	26	56
Kent	66	4,0	55	38	36	15	20	22	19	51
Springfelds	51	4,0	71	59	26	93	7	19	23	31
Ford	44	4,2	54	47	25	63	7	16	18	29
Bocado	41	9,7	63	48	20	26	7	18	20	37
Média	**57**	**7,7**	**60**	**51**	**28**	**51,4**	**9,4**	**20,8**	**25,6**	**57,5**

Fonte: Laborem et al. (1979 citado por AVILÁN ROVIRA, 1983).

Considerando-se a exportação de nutrientes pelos frutos (casca, polpa e semente), o nitrogênio e o potássio foram os mais encontrados; em média, são exportados 1,23 kg de N, 0,15 kg de P, 1,57 kg de K, 0,28 kg de Ca, 0,20 kg de Mg, 0,15 kg de S, 1,22 g de B, 3,53 g de Cu, 4,19 g de Fe, 2,71 g de Mn e 3,27 g de Zn por tonelada de frutos (Tabela 3). Assim, os nutrientes exportados pelos frutos seguem a seguinte ordem decrescente: $K > N > Ca > Mg > P = S > Fe > Cu > Zn > Mn > B$.

Tabela 3. Quantidades médias de nutrientes exportadas pelos frutos frescos de diferentes cultivares de manga.

Cultivar	Haden[1]	Tommy Atkins[1]	Extrema[2]	Manila[3]	Sensation[4]	Carlota[5]	Média
Nutriente	kg t^{-1} frutos						
N	1,18	1,09	1,18	1,24	-	1,45	**1,23**
P	0,09	0,12	0,17	0,15	0,18	0,18	**0,15**
K	1,20	0,91	1,84	1,89	1,31	2,27	**1,57**
Ca	0,20	0,25	0,15	0,24	0,60	0,25	**0,28**
Mg	0,20	0,24	0,17	0,17	0,31	0,13	**0,20**
S	0,10	0,12	0,19	-	-	0,19	**0,15**
	g t^{-1} frutos						
B	1,40	1,80	0,90	-	-	0,80	**1,22**
Cu	4,80	9,00	0,90	1,43	-	1,50	**3,53**
Fe	6,10	2,20	3,90	5,36	-	3,40	**4,19**
Mn	2,30	2,80	3,80	0,36	-	4,30	**2,71**
Zn	5,80	5,40	1,50	2,14	-	1,50	**3,27**
Peso médio fruto (g)	420−540	460−600	320−400	280	350	180−250	
Idade cultura (anos)	9	9	-	31	2	-	

Fonte: [1]Haag et al. (1990 citado por QUAGGIO, 1996); [2]Hiroce et al. (1978); [3]Guzmán-Estrada (2006); [4]Vuuren e Stassen (1997);
[5]Hiroce et al. (1977).

Quanto à marcha de absorção de nutrientes, estudos com N, P, K e Ca mostraram que, nos períodos anteriores à floração, os teores de N, P e K foram máximos, havendo redução em seguida. Os valores mais baixos foram encontrados na fase de formação dos frutos. O inverso ocorreu com o cálcio. No entanto, maior absorção de P foi observada no início da formação de frutos. Assim, os períodos de floração e de início de formação dos frutos são mais críticos dentro do ciclo de produção. Podem-se considerar duas fases distintas: uma de acúmulo de nutrientes, iniciada após a colheita até o início da floração, e outra de diminuição dos níveis, durante a formação dos frutos. Nesta última fase, a maior absorção ocorre 52 dias após o aparecimento dos frutos.

Fertirrigação com nitrogênio

O nitrogênio (N) é o nutriente mais aplicado via água de irrigação, pois apresenta alta mobilidade no solo, principalmente na forma de nitrato (NO_3^-). Pela fertirrigação, é possível parcelar o N de acordo com a demanda da mangueira, reduzindo as perdas do nutriente, principalmente em solos arenosos (COELHO, 1994; VITTI et al., 1994).

Acredita-se que, quando o número de parcelamentos da adubação nitrogenada é aumentado, há maior eficiência do uso de N e redução de perdas, principalmente por lixiviação. Entretanto, existem evidências de que o processo de nitrificação em solos tropicais não é tão rápido, aumentando o tempo do N na forma amoniacal, com a redução das perdas por lixiviação de nitrato (COELHO, 1994). Dessa maneira, a aplicação do N pode ser efetuada na época de sua maior necessidade pela planta.

Samra e Arora (1997) citam trabalhos que mostram maior produtividade da mangueira, quando a adição de NPK foi realizada 50% no florescimento e 50% após a colheita. Contudo, existem recomendações de que o N deve ser aplicado até 60 dias após o florescimento.

Uma vez que a demanda por nutrientes não é constante durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta, pode-se ter, numa determinada fase, maior demanda por outro nutriente (Ca, P ou K), o que irá definir o íon acompanhante do fertilizante nitrogenado.

Os fertilizantes nitrogenados sólidos são apresentados em quatro formas: amoniacal (sulfato de amônio), nítrica (nitrato de sódio),

nítrico-amoniacal (nitrato de amônio, nitrocálcio) e amídica (ureia). São solúveis em água e adequados à fertirrigação, incluindo em sistema por gotejamento (COELHO, 1994). De modo geral, as fontes nitrogenadas têm apresentado comportamento similar, e podem diferir em razão da presença de outro nutriente ou pelo efeito sobre o pH do solo (COELHO, 1994). A Tabela 4 apresenta as características dos principais fertilizantes nitrogenados encontrados no mercado.

Tabela 4. Características dos fertilizantes nitrogenados utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente (g kg^{-1})	Solubilidade (g L^{-1})	Índice salino(1)	Índice acidez/basicidade(2)
Nitrato de amônio	340 N	1.900	105	+60
Nitrato de cálcio	140 N + 280 Ca	1.200	61	-20
Nitrato de magnésio	70 a 110 N + 100 a 160 MgO	-	-	básico
Nitrato de potássio	130 N + 460 K_2O	310	-	-115
Sulfato de amônio	200 N + 240 S	730	69	+110
Ureia	450 N	1.000	75	+71
Nitrato de sódio	160 N	730	100	básico
Uran	320 N	-	-	-
DAP	170 N + 400 P_2O_5	400	34	+88
MAP	110 N + 440 P_2O_5	220	30	+60
MAP + ureia	125 N + 125 P_2O_5	-	-	-
Magnitra-L	70 N + 100 MgO	-	-	-

(1)Relativo ao valor do índice salino do nitrato de sódio ($NaNO_3$) igual a 100.
(2) +Quantidade de $CaCO_3$ necessária para neutralizar 100 kg do adubo.
- Quantidade de $CaCO_3$ "adicionada" pela aplicação de 100 kg de adubo.
Fonte: Frizzone e Botrel (1994) e Vitti et al. (1994).

Com relação às quantidades de nitrogênio aplicadas, deve-se observar a necessidade da mangueira em cada fase de

desenvolvimento. O nitrogênio será aplicado durante toda a fase de crescimento, devendo-se reduzir as quantidades ou suspender a aplicação no período próximo à indução floral. Por meio da fertirrigação, parcela-se o nitrogênio de acordo com a textura do solo, reduzindo-se as perdas do nutriente, principalmente em solos arenosos. Nos solos argilosos, a fertirrigação com nitrogênio pode ser realizada uma vez por semana, enquanto nos solos arenosos, como as Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos), deve ser realizada de três a cinco vezes por semana.

Na fase de produção, as quantidades de nitrogênio a serem aplicadas são definidas em razão do teor de N nas folhas e da produtividade esperada. Os períodos de maior demanda são a pós-colheita e o período que vai do pegamento dos frutos até que eles atinjam 5 cm de diâmetro. O N deve ser igualmente parcelado nessas duas fases (50% em cada fase), observando-se sempre a textura do solo na frequência da fertirrigação.

Fertirrigação com fósforo

O fósforo (P) é um nutriente pouco utilizado em fertirrigação em virtude da sua baixa difusão no solo (COELHO, 1994). A adubação fosfatada apresenta efeito residual de longa duração, pois o P não se move a longas distâncias no solo e sua lixiviação no perfil do solo é pequena, até mesmo em solos mais arenosos. Contudo, trabalho citado por Coelho (1994), em solo arenoso, mostrou que houve movimentação de P em até 18 cm de profundidade, com a fertirrigação em cultura de ciclo curto. Acredita-se que o aumento da

mobilidade de P, aplicado por gotejamento, seja em decorrência da saturação dos sítios de adsorção próximos ao ponto de saída da solução.

Samra e Arora (1997) apresentaram trabalhos que evidenciaram que a maior produtividade da mangueira foi obtida com 30 kg de P_2O_5 ha^{-1}, dos quais 50% foram aplicados no florescimento e 50% após a colheita. Contudo, outros trabalhos indicam doses de P_2O_5 de 87, 185 e 200 g $planta^{-1}$ ano^{-1}.

Para realizar a aplicação de fósforo por fertirrigação durante a fase de formação da mangueira, devem-se observar tanto o pH quanto a presença de cálcio na água de irrigação, bem como a textura do solo e a compatibilidade com outros nutrientes. As quantidades a serem aplicadas são definidas conforme análise química do solo realizada antes do plantio.

Durante a fase de produção, além dos cuidados citados anteriormente, deve-se parcelar a adubação fosfatada nas fases de pós-colheita (60%) e de florescimento (40%). Na fase de pós-colheita, deve-se dar preferência ao MAP, ao DAP ou ainda ao fosfato de ureia; na fase de florescimento, pode-se utilizar o MKP caso as condições não sejam adequadas à aplicação de ácido fosfórico. Alguns desses produtos apresentam custo muito elevado, o que restringe a sua utilização. As quantidades de fósforo a serem aplicadas são definidas em razão do teor do nutriente no solo e da produtividade esperada.

Contudo, muitas vezes não se justifica a recomendação do fertilizante fosfatado via água de irrigação por causa da baixa solubilidade da maioria dos adubos fosfatados e da facilidade de sua precipitação, causando entupimento dos microaspersores e

gotejadores. O ácido fosfórico, apesar do risco de corrosão em condutos metálicos, não causa problemas de entupimento dos emissores.

Fertirrigação com potássio

O potássio (K), apesar de não fazer parte de compostos estruturais da planta, é importante nos processos fotossintéticos, na respiração e na translocação da seiva. É um nutriente importante no estádio de frutificação da mangueira (RODRIGUEZ et al., 1986).

A aplicação de potássio via água de irrigação, juntamente com o nitrogênio, é viável uma vez que os fertilizantes potássicos são solúveis. No parcelamento desse nutriente, é importante considerar o seu potencial de perdas por lixiviação e a curva de absorção pela mangueira. Sabe-se que as perdas de K por lixiviação variam com a textura do solo, sendo maiores em solos arenosos e quando as doses aplicadas são muito elevadas.

Dessa maneira, a época de aplicação e o número de parcelamentos vão depender da dose a ser aplicada e da demanda da cultura. Segundo Avilán Rovira (1971), a absorção de K é maior antes do florescimento. Vuuren e Stassen (1997) verificaram maior quantidade de K nos frutos; assim, o K deve ser aplicado no início da produção dos frutos, os quais exigem a presença desse nutriente. Outra recomendação sugere a aplicação de 30% a 60% da dose no período de produção e de 40% a 70% após a colheita.

Na fase de crescimento, as aplicações de potássio devem ser realizadas da mesma forma que se realizam as aplicações de nitrogênio, durante toda a fase de crescimento. A frequência de fertirrigação deve ser a mesma frequência da irrigação. As quantidades a serem aplicadas devem ser estabelecidas pela análise química do solo.

Na fase de produção, as quantidades de potássio a serem aplicadas são definidas em razão do teor do nutriente no solo e da produtividade esperada. O potássio pode ser aplicado durante todo o período. Após a colheita, devem ser aplicados de 25% a 35%, enquanto as demais aplicações devem ser concentradas no período do pegamento dos frutos até que atinjam 5 cm de diâmetro. Os fertilizantes potássicos, normalmente utilizados em fertirrigação, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Características dos fertilizantes potássicos utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente (g kg^{-1})	Solubilidade (g L^{-1})	Índice salino(1)	Índice acidez/basicidade
Cloreto de potássio	600 K_2O + 480 Cl	340	115	-
Nitrato de potássio	440 K_2O + 140 N	320	31	Básico
Sulfato de potássio	520 K_2O + 170 S	110	46	-
Nitrato de sódio e potássio	140 K_2O + 140 N	-	31	-
Sulfato de potássio e magnésio (K-Mag)	220 K_2O + 220 S + 110 Mg	290	43	-
MKP	340 K_2O + 520 P_2O_5	-	-	-

(1)Relativo ao valor do índice salino do nitrato de sódio ($NaNO_3$) igual a 100.

Fonte: Coelho (1994) e Vitti et al. (1994).

Fertirrigação com cálcio e magnésio

Os fertilizantes que contêm cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são normalmente supridos pela calagem. Contudo, o Ca pode ficar em desequilíbrio quando houver excesso de Mg e K, e também de N, o que pode levar à ocorrência de distúrbios fisiológicos nos frutos das variedades monoembriônicas e melhoradas como ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’ e ‘Keitt’. Em razão da sua importância na planta, outras aplicações de Ca podem ser necessárias, além da calagem, via solo, na forma de gesso ou de nitrato de cálcio em pulverização ou fertirrigação. O magnésio é integrante da molécula de clorofila e ativador de enzimas. É essencial à absorção de P; no entanto, altas concentrações de K inibem sua absorção. Normalmente, utiliza-se o sulfato como fonte de magnésio dada a sua boa solubilidade. O nitrato de magnésio e as formas quelatizadas de Mg, apesar de ter um custo mais elevado, são outras alternativas.

Fertilizantes com enxofre e micronutrientes

O suprimento de enxofre (S) pela fertirrigação não apresenta problemas, pois o íon SO_4^- é móvel no solo e está presente em fertilizantes com alta solubilidade, como o sulfato de amônio (24% S) e o sulfato de potássio. Porém, deve-se tomar cuidado com a incompatibilidade do sulfato com o cálcio.

Micronutrientes como o zinco (Zn), o ferro (Fe), o cobre (Cu) e o manganês (Mn) podem reagir com sais da água de irrigação e causar precipitação e entupimento de emissores. Por isso, os micronutrientes são aplicados como quelatos, que são solúveis e causam poucos problemas de precipitação.

O boro (B) é essencial na formação da parede celular e na divisão celular, aumentando o número de flores, o pegamento de fruto e a produtividade. Por causa da facilidade de lixiviação que esse nutriente apresenta, o parcelamento é a prática mais recomendada. Os micronutrientes utilizados em fertirrigação são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Características dos fertilizantes que contêm micronutrientes utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente ($g\ kg^{-1}$)	Solubilidade ($g\ L^{-1}$)
Sulfato de cobre	250 Cu	220
Sulfato de Cu penta-hidratado	-	240
Sulfato de manganês	280 Mn	1.050
Sulfato manganoso ($MnSO_4.3H_2O$)	270 Mn	7.420
Molibdato de sódio	390 Mo	560
Molibdato de amônio	480 Mo	400
Sulfato de zinco	220 Zn	750
Ácido bórico	160 B	50
Bórax	110 B	50
Solubor [$(Na_2B_8)O_{13}.4H_2O$]	209 B	95 (32 °C a 50 °C)
Sulfato de ferro	190 Fe	240
Sulfato ferroso	-	330
Tenso TM Fe	60 Fe	Total
Quelatos (Fe, Cu, Mn e	-	Alta

Zn) EDTA, DTPA		
Hydroplus TM Micro	30 B + 120 Cu + 38 Fe-EDTA + 32 Fe-DTPA + 120 Mn + 41 Mo + 140 Zn	-
Tenso Cocktail	5,2 B + 25,7 Ca-EDTA + 5,3 Cu-EDTA + 21 Fe-EDTA + 17,4 Fe-DTPA + 25,7 Mn-EDTA + 1,3 Mo + 5,3 Zn-EDTA.	Completa

Fonte: Villas Boas et al. (1999) e Vitti et al. (1994).

Manejo da fertirrigação

Quando se prepara uma solução de fertilizantes que envolve mais de um tipo de fonte de nutrientes, deve-se verificar se são compatíveis para evitar problemas de entupimentos das tubulações e dos emissores. O cálcio não deve ser injetado com outro fertilizante que contém o radical sulfato. Esses cuidados devem ser ainda maiores quando a água usada na irrigação tem pH neutro, ou seja, quando as concentrações de Ca + Mg e de bicarbonatos são maiores que 50 ppm e 150 ppm, respectivamente. O ácido fosfórico não deve ser injetado via água de irrigação que contenha mais que 50 ppm de cálcio e nitrato de cálcio, bem como em água que contenha mais de 5,0 meq L^{-1} de HCO_3, pois poderá formar precipitados de fosfato de cálcio.

Os procedimentos adequados à aplicação de fertilizantes via água de irrigação compreendem três etapas distintas. Durante a primeira etapa, o sistema de irrigação deve funcionar durante um quarto do tempo de irrigação para equilibrar hidraulicamente as unidades de rega como um todo. Na segunda etapa, faz-se a injeção dos fertilizantes no sistema de irrigação, por meio de equipamentos apropriados. Na terceira etapa, o sistema deve continuar

funcionando, com o objetivo de complementar o tempo total de irrigação, lavar completamente o sistema de irrigação e carrear os fertilizantes da superfície para camadas mais profundas do solo.

A fertirrigação depende da taxa de injeção de fertilizantes, do tempo de irrigação por unidade de rega e dos tipos e doses de fertilizantes por unidade de rega, considerando-se as variedades e as respectivas fases fenológicas.

Como regra geral, dependendo da complexidade do desenho do sistema de irrigação com relação à fertirrigação, recomenda-se iniciar o processo com fertilizantes potássicos, seguido dos fertilizantes nitrogenados, administrando-se as quantidades desses fertilizantes aplicados por unidade de rega, com base no tempo de irrigação. As propriedades que utilizam o ácido fosfórico como fonte de fósforo, devem aplicá-lo no final da fertirrigação, pois isso pode também proporcionar a limpeza dos sistemas de irrigação. Caso os fertilizantes sejam aplicados na forma de mistura, as soluções de cada fertilizante devem ser preparadas em separado e misturadas na proporção desejada, de acordo com as necessidades nutricionais das plantas.

Uma alternativa mais recente, que visa amenizar a complexidade da injeção de fertilizantes via água de irrigação, é a utilização de adutoras secundárias, paralelas às adutoras das unidades de rega, cuja finalidade é transportar a solução ou mistura concentrada de fertilizantes até a entrada da unidade de rega específica. Porém, é necessário que haja simultaneidade entre os tempos de irrigação e de fertirrigação em cada unidade de rega, de modo que a injeção da solução que contém fertilizantes seja feita nos dois quartos intermediários do tempo de irrigação, pois a permanência do

nitrogênio na tubulação, após a fertirrigação, pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos que causam a obstrução dos emissores.

Deve-se também levar em consideração a localização do cabeçal de controle em relação às áreas irrigadas, para determinar o tempo exato em que a água demora para chegar a cada unidade de rega. Para o manejo de fertirrigação deve-se considerar o maior tempo, além de monitorar a condutividade elétrica da água de irrigação em todas as unidades de rega e efetuar os ajustes de pH da solução de nutrientes.

A relação entre a vazão de injeção de fertilizantes e a vazão do sistema de irrigação é de 0,2 L m^{-1} a 0,4 L m^{-1}. Por sua vez, o aumento da salinidade da água de irrigação, provocada pela injeção de fertilizantes, é função da relação entre a frequência de irrigação e a frequência de fertirrigação, conforme Tabela 7.

Tabela 7. Salinidade máxima na água de irrigação após a dissolução de fertilizantes.

Frequência de irrigação/frequência de fertirrigação	Concentração na água (g L^{-1})	Condutividade elétrica (mmhos cm^{-1} a 25 °C)
1 dia	1,50	2,30
2 vezes por dia	2,00	3,10
4 vezes por dia	2,50	4,00
7 vezes por dia	4,00	6,30

Fonte: Burt et al. (1998).

Referências

ALLEN, R. G. **Irrigation engineering**: course lecture notes. Logan: Department of Agricultural Engineering-Utah State University, 1992. 297 p.

AVILÁN ROVIRA, L. La fertilización del mango (*Mangifera indica* L.) en Venezuela. **Fruits**, Paris, FR, v. 38, n. 7/8, p. 553-562, 1983.AVILÁN ROVIRA, L.; CHAURAN, O.; FIGUEROA, M. Evaluacion del estado nutricional del mango (*Mangifera indica* L) y el aguacate (*Persea americana* Mill) y distribución radicular del mango cultivado en los suelos de las mesas orientales de Venezuela. **Agronomía Tropical**, Maracay, v. 28, n. 1, p. 3-18, 1978.

AVILÁN ROVIRA, L. Variaciones de los niveles de nitrogeno, fosforo, potasio y calcio en las hojas de mango (*Mangifera indica* Linn.) atraves de un ciclo de produccion. **Agronomía Tropical**, Maracay, v. 21, n. 1, p. 3-10, 1971.

AZZOUZ, S.; EL-NOKRASHY, M. A.; DAHSHAN, I. M. Effect of frequency of irrigation on tree production and fruit quality of mango. **Agricultural Research Review**, Cairo, EG, v. 55, n. 3, p. 59-66, 1977.

BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: The Irrigation Training & Research Center, 1998. 320 p.

CHOUDHURY, E. N.; SOARES, J. M. Comportamento do sistema radicular de fruteiras irrigadas: I. Mangueira em solo arenoso sob irrigacao por aspersao sobcopa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 14, n. 3, p. 169-176, 1992.

CLAUSNITZER, V.; HOPMANS, J. W. Simultaneous modeling of transient three-dimensional root growth and soil water flow. **Plant and Soil**, The Hague, v. 164, n. 2, p. 299-314, 1994.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. Uso da regulação do déficit de irrigação e produtividade de mangueira tommy atkins em condições semi-áridas. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE USO DAS ÀGUAS SUBTERRÂNEAS NA AGRICULTURA IRRIGADA, 2005, Teresina. **Anais**... Teresina: ABID, 2005. 1 CD-ROM.

COELHO, A. M. Fertigação. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1994. p. 201-227.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, D. M. Distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada em solo arenoso de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 250-256, 2001.

FARRÉ, J. M.; HERMOSO, J. M. Mulching and irrigation effects on growth, cropping and fruit quality of the mango cv. Sensation. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 341, p. 295-302, 1993.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: Potafos, 1994. p. 227-260.

GUZMÁN-ESTRADA, C. Nutrient supply of mango in Southern Sinaloa, México. In: INTERNATIONAL MANGO SYMPOSIUM, 8., 2006, Sun City. **Abstract**… Sun City: [s.n.], 2006. p. 5-10.

HIROCE, R.; CARVAHO, A. M.; BATAGLIA, O. C.; FURLANIO, P. R.; FURLANI, A. M. C.; SANTOS, R. R. dos; GALLO, J. Composição mineral de frutos tropicais na colheita. **Bragantia**, Campinas, v. 36, p. 155-164, 1977.

HIROCE, R.; CARVALHO, A. M.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; SANTOS, R. R. dos; GALLO, J. R. Composição mineral de frutos tropicais na colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 4., 1978, Salvador. **Anais**... Salvador: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1978. p. 357-364.

KOTUR, S. C.; IYENGAR, B. R.; SHIVANANDA, T. N. Distribution of root activity in young 'Alphonso' mango (*Mangifera indica*) trees as influenced by season and growth. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, IN, v. 67, n. 3, p. 113-116, 1997.

LOPES, P. M. O. **Evapotranspiração da mangueira na região do submédio São Francisco**. 1999. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MEDINA, U. V. M. Distribution of roots of native mango trees *Mangifera indica* L. grafted with three different cultivars. **Agricultura Tecnica en Mexico**, México, DF, v. 9, n. 2, p. 165-178, 1983.

MOSTERT, P. G.; WANTENAAR, L. Water needs and irrigation of mature mango trees. **Yearbook South African Mango Growers' Association**, Tzaneen, v. 14, p. 21-23, 1994.

QUAGGIO, L. A. A adubação e calagem para mangueira e qualidade dos frutos. In: SÃO JOSÉ, A . R.; SOUZA, I. V. B.; MARTINS FILHO, J.; MORAIS, O. M. (Ed.). **Manga**: tecnologia de produção e mercado. Vitória da Conquista: DBZ/UES, 1996. p. 106-135.

RODRIGUEZ, A. P. M.; GUILHERME, M. R.; KLIEMANN, H. J.; GENÚ, P. J. de C.; QUEIROZ, E. F. de. Nutrição mineral e adubação da mangueira. In: HAAG, H. P. (Ed.). **Nutrição mineral e adubação de frutíferas tropicais no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 205-245.

SAMRA, J. S.; ARORA, Y. K. Mineral nutrition. In: LITZ, R. E. **The mango**: botany, production and uses. Homestead: CAB International, 1997. p. 175-201.

SCHAFFER, B.; WHILEY, A. W.; CRANE, J. H. Mango. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC, 1994. v. 2, p. 165-198.

SILVA, E. M.; PINTO, A. C. Q.; AZEVEDO, J. A. **Manejo da irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. 77 p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 61).

SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. 2000. 129 f. (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; SILVA, J. A. M. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 456-462, 2001.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F. Irrigação. In: MARQUES, M. E. de P.; MENEZES, E. A. (Ed.). **Informações técnicas sobre a cultura da manga no semi-áridobrasileiro**. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1995. p. 41-80.

VILLAS BOAS, R. L.; BULL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 293-353.

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

VUUREN, B. P. H.; STASSEN, P. J. C. Seasonal uptake of macro elements by young bearing “sensation” mango trees. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 455, p. 167-174, 1997.

Capítulo 17

Irrigação e fertirrigação na cultura do maracujá

Valdemício Ferreira de Sousa
Ana Lúcia Borges

Introdução

Pertencente à família Passifloraceae e gênero *Passiflora*, o maracujazeiro – frutífera originária da região tropical da América do Sul – é bastante cultivada no Brasil e proporciona bom retorno econômico para os produtores. O Brasil é o principal produtor mundial de maracujá, com 49.112 ha plantados e com área colhida de 48.752 ha. A produção em 2008 foi de 684.376 toneladas, e os estados que se destacam como maiores produtores são: Bahia, Ceará, Sergipe, Minas Gerais, Espírito Santo e Pará (IBGE, 2008). Em razão do uso da irrigação, na região Nordeste, a área cultivada com o maracujazeiro tem aumentado expressivamente nos últimos anos, tornando-a uma das dez espécies frutíferas mais cultivadas.

O maracujazeiro é uma planta lenhosa, perene, trepadeira, de crescimento rápido e contínuo. Seus ramos podem atingir de 5 m a 10 m de comprimento, havendo necessidade de condução específica em sistemas de exploração comercial. O sistema radicular é do tipo pivotante, pouco profundo, com maior volume de

raízes (60% a 80%), compreendendo entre 0,30 m e 0,45 m de profundidade e um raio de 0,60 m a partir do caule (KLIEMANN et al., 1986; SOUSA et al., 2002; URASHIMA, 1985). As flores, geralmente, abrem-se entre 12h e 13h e permanecem abertas em torno de 4 horas. A polinização deve ser feita nesse período, caso contrário, não ocorre a formação de frutos. O principal agente responsável pela polinização do maracujazeiro é a abelha mamangava (*Xilocopa* spp.). Em sistema de produção comercial, a polinização artificial deve ser realizada, principalmente quando constatada ausência ou pouca presença das abelhas.

O maracujazeiro adapta-se melhor em regiões com temperaturas médias mensais entre 21 °C e 32 °C, precipitação pluviométrica anual entre 800 mm e 1.750 mm, baixa umidade relativa, período de brilho solar em torno de 11 horas e ventos moderados (MELETTI, 1996; RUGGIERO et al., 1996). Entre os fatores climáticos, a radiação solar, a temperatura e o número de horas de brilho solar são os que mais limitam a produtividade do maracujazeiro amarelo, visto que não existe possibilidade de interferência do homem. Fatores como estresse hídrico e baixo nível de nitrogênio nas folhas, associados a dias curtos e baixas temperaturas do ar e do solo, restringem o crescimento e o potencial produtivo do maracujazeiro (MENZEL et al., 1986; SIMON; KARNATZ, 1983).

Métodos e sistemas de irrigação

O maracujazeiro pode ser irrigado com qualquer um dos métodos de irrigação conhecidos, quais sejam: irrigação por superfície, por

aspersão e localizada. Na definição do método e/ou sistema de irrigação, devem-se observar as recomendações técnicas, a fim de que haja melhor aproveitamento da água e maior eficiência da irrigação. Nas condições atuais, em que se defende o melhor aproveitamento e a economia dos recursos hídricos, o método de irrigação localizada destaca-se dos demais (COSTA et al., 2000).

Deve-se ter maior atenção ao irrigar por aspersão durante os períodos de abertura das flores e de polinização. As flores abrem-se após as 12h, com máxima abertura às 13h. Após a polinização, os estigmas devem permanecer secos pelo menos por 2 horas. Assim, recomenda-se que as irrigações sejam feitas no período da manhã, no final da tarde ou à noite. O objetivo é evitar que a água, ao entrar em contato com os grãos de pólen, provoque o estouro desses grãos reduzindo a possibilidade de fecundação.

O método mais comumente usado tem sido a irrigação localizada, com os sistemas de gotejamento e microaspersão. A microaspersão promove maior área molhada de solo comparada ao gotejamento, permitindo maior expansão do sistema radicular (Figura 1). Semelhante ao método de aspersão, a microaspersão favorece a formação de um microclima próximo ao caule das plantas, acarretando o aparecimento de possíveis doenças. No entanto, a instalação dos microaspersores próximos à fileira de plantas garante melhor distribuição de água e umedecimento na região do seu sistema radicular. Por isso, o uso da microaspersão numa cultura implantada no sistema em espaldeira requer a poda dos ramos de 0,40 m a 0,50 m acima do nível do solo.



Figura 1. Irrigação por microaspersão na cultura do maracujá.

Foto: Ana Lúcia Borges

A irrigação por gotejamento, embora seja de alto custo inicial, é o método de maior eficiência e de menor demanda de energia. Quando se realiza o dimensionamento do sistema de irrigação por gotejamento para o maracujazeiro, devem-se ter os devidos cuidados com relação ao número e à disposição dos gotejadores em torno do caule da planta em razão da sua vazão e tipo de solo. Os gotejadores podem ser distribuídos em linha com dois ou três emissores por planta (Figura 2). A distribuição ideal consiste na disposição dos gotejadores em torno do caule da planta, permitindo a sobreposição dos bulbos úmidos (disposição em círculo) (Figura 3). Nesse caso, pode-se utilizar de três a quatro emissores por planta, com raio médio de 0,25 m por planta na fase de formação (até 120 dias de idade) e de 0,40 m por planta na fase de produção.

É possível também dispor os gotejadores em semicírculo (Figura 4), utilizando-se três emissores por planta, obedecendo aos mesmos critérios anteriores.



Figura 2. Gotejadores distribuídos próximo à linha de plantas do maracujazeiro.

Foto: Valdemício Ferreira de Sousa

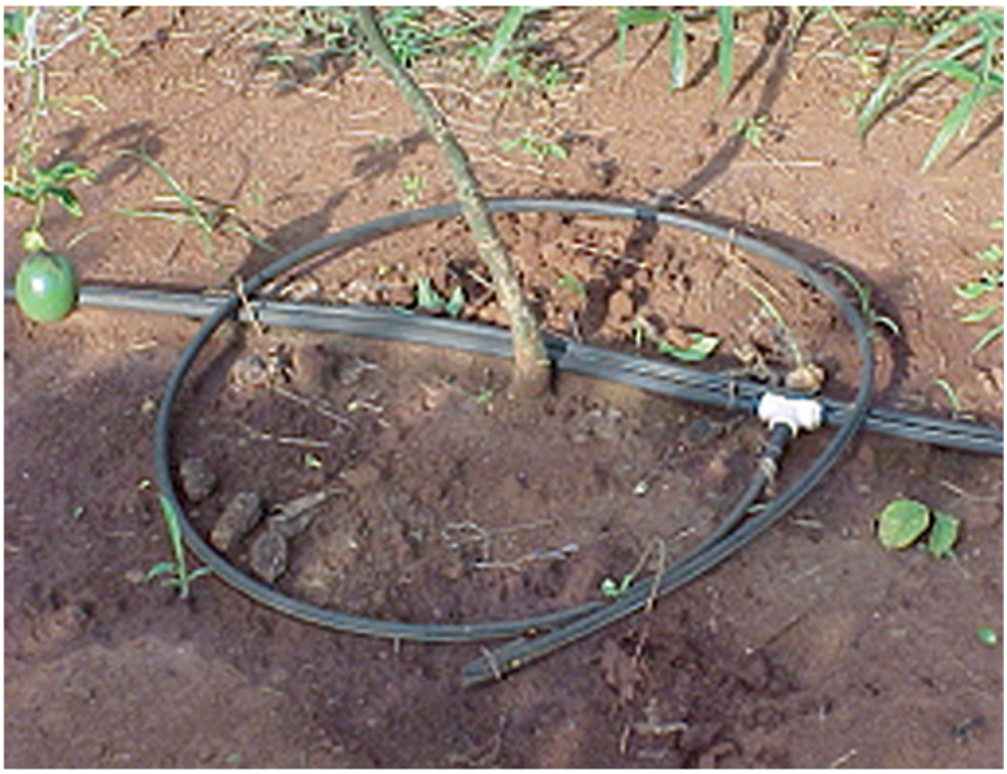


Figura 3. Distribuição de gotejadores em círculo em torno da planta de maracujazeiro.

Foto: Valdemício Ferreira de Sousa



Figura 4. Distribuição de gotejadores em semicírculo em torno da planta de maracujazeiro.

Foto: Valdemício Ferreira de Sousa

Ainda referente à disposição de emissores (gotejadores), tanto o sistema de gotejamento superficial quanto o subsuperficial (enterrado) podem ser utilizados. No caso dos emissores enterrados e pela característica do maracujazeiro de apresentar um sistema radicular raso, recomendam-se profundidades de instalação que variem de 0,20 m (em solo arenoso) a 0,25 m (em solo argiloso). Ainda no gotejamento enterrado, o plantio em época chuvosa facilita o desenvolvimento das raízes, que terão profundidade suficiente para absorção de água do volume molhado nos períodos secos subsequentes.

Nogueira et al. (1998) estudaram os efeitos de três sistemas de irrigação localizada e de três níveis de irrigação na cultura do maracujazeiro em solo de tabuleiro. Os seguintes sistemas foram

usados: microaspersão e gotejamento superficial e subsuperficial. As lâminas de irrigação foram baseadas nos dados de evaporação do tanque Classe A, utilizando-se os fatores de 0,6, 0,8 e 1,0. Os autores observaram efeitos significativos das lâminas d'água sobre o peso médio de frutos, cuja irrigação por gotejamento foi superior à microaspersão no que dia respeito ao número e ao peso médio de frutos.

Necessidades hídricas da cultura

O maracujazeiro responde bem à irrigação, e o teor de umidade no solo é um dos fatores que mais influenciam o florescimento da cultura (VASCONCELLOS, 1994). A falta de umidade no solo provoca a queda de folhas e frutos do maracujazeiro, principalmente no início de seu desenvolvimento. Quando os frutos permanecem na planta numa situação de deficiência hídrica, podem crescer com enrugamento, e isso prejudica a qualidade da produção (MANICA, 1981; RUGGIERO et al., 1996).

Informações sobre as necessidades hídricas da cultura do maracujazeiro são atualmente escassas na literatura. Resultados obtidos por Martins et al. (1998) no Estado do Rio de Janeiro mostraram a relação entre a lâmina d'água total aplicada (chuva + irrigação) e a produtividade da cultura do maracujazeiro irrigado por gotejamento. Para os autores, a produtividade máxima econômica (39.051 kg ha^{-1}) foi obtida com uma lâmina em torno de 1.360 mm. Os resultados evidenciaram ainda que o uso da irrigação propiciou um aumento de 36% na produtividade da cultura. A partir dos

resultados obtidos por Martins et al. (1998), fizeram-se combinações para situações particulares de clima, solo, variedade e método de irrigação (Tabela 1), que, no entanto, podem ser extrapoladas na ausência de informações locais mais precisas.

Tabela 1. Relação entre lâmina total de água e produtividade do maracujazeiro amarelo irrigado por gotejamento.

Lâmina total[(1)] (mm)	Produtividade (kg ha^{-1})
826[(1)]	29.627
1.045	34.067
1.197	37.095
1.306	40.131
1.479	40.031
1.724	33.847

[(1)] A precipitação pluviométrica no período foi de 826 mm.
Fonte: adaptado de Martins et al. (1998).

Resultados de Sousa (2000) e de Sousa et al. (2003) mostraram que o maracujazeiro amarelo requer uma quantidade de água em torno de 2.117 L $planta^{-1}$ ano^{-1} ou, em média, 940 mm ano^{-1} para obter a máxima produtividade comercial (Figura 5).

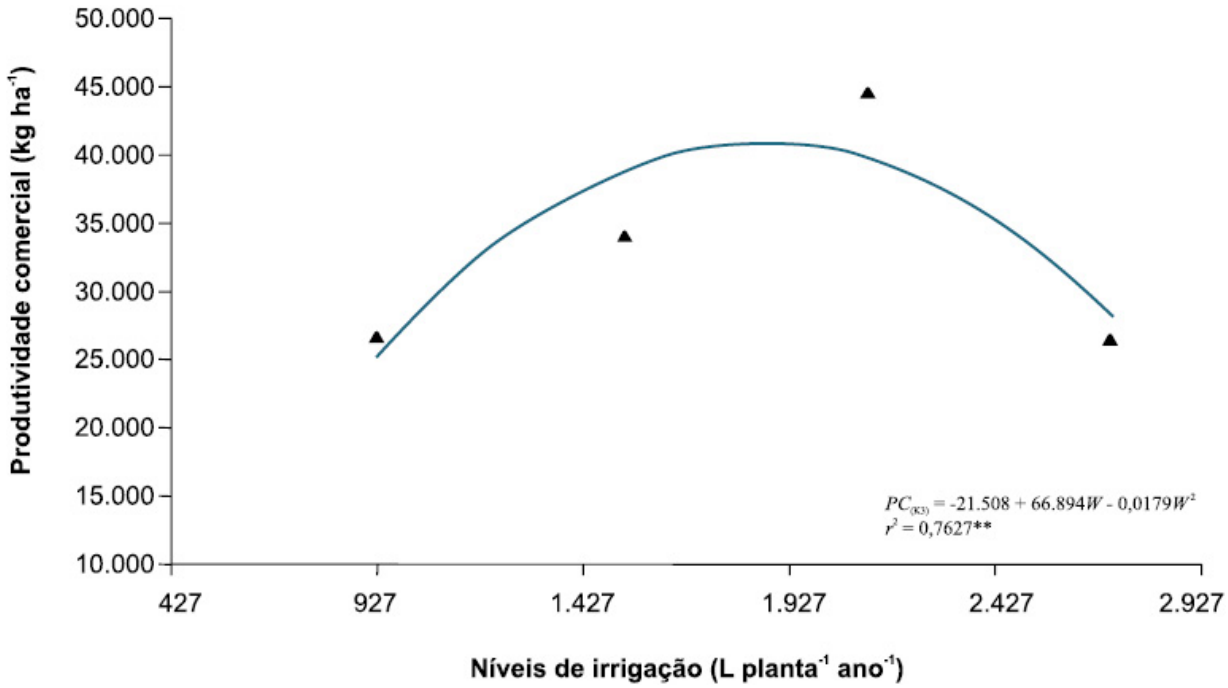


Figura 5. Produtividade comercial do maracujazeiro amarelo (*PC*) sob diferentes níveis de irrigação (*W*) aplicados por gotejamento.

Nas condições de Piracicaba, SP, o consumo hídrico do maracujazeiro amarelo na fase de desenvolvimento vegetativo (até os 180 dias após o transplantio) foi de 432,9 mm, com máximo consumo de água (4,68 mm dia^{-1}) registrado no início da floração (ALENCAR, 2000). Utilizando o modelo de Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração de referência (*ETo*), o autor determinou valores de coeficientes de cultivo (*Kc*) que variaram entre 0,51 e 1,10 no período estudado.

O consumo médio de água pela cultura, determinado por meio da evapotranspiração da cultura (*ETc*) em lisímetros de drenagem (Figura 6), mostrou baixo consumo de água (*ETc* < 1,10 L planta^{-1} dia^{-1}) na fase inicial (até 90 dias após o transplantio das mudas). Esse fato ocorreu em virtude do pequeno crescimento da planta (área foliar) e também pelo período frio do ano (inverno). A partir desse ponto, o consumo cresceu até os 300 dias, atingindo até

23,37 L planta^{-1} dia^{-1}, reduzindo em seguida até os 428 dias, com 14,52 L planta^{-1} dia^{-1}.

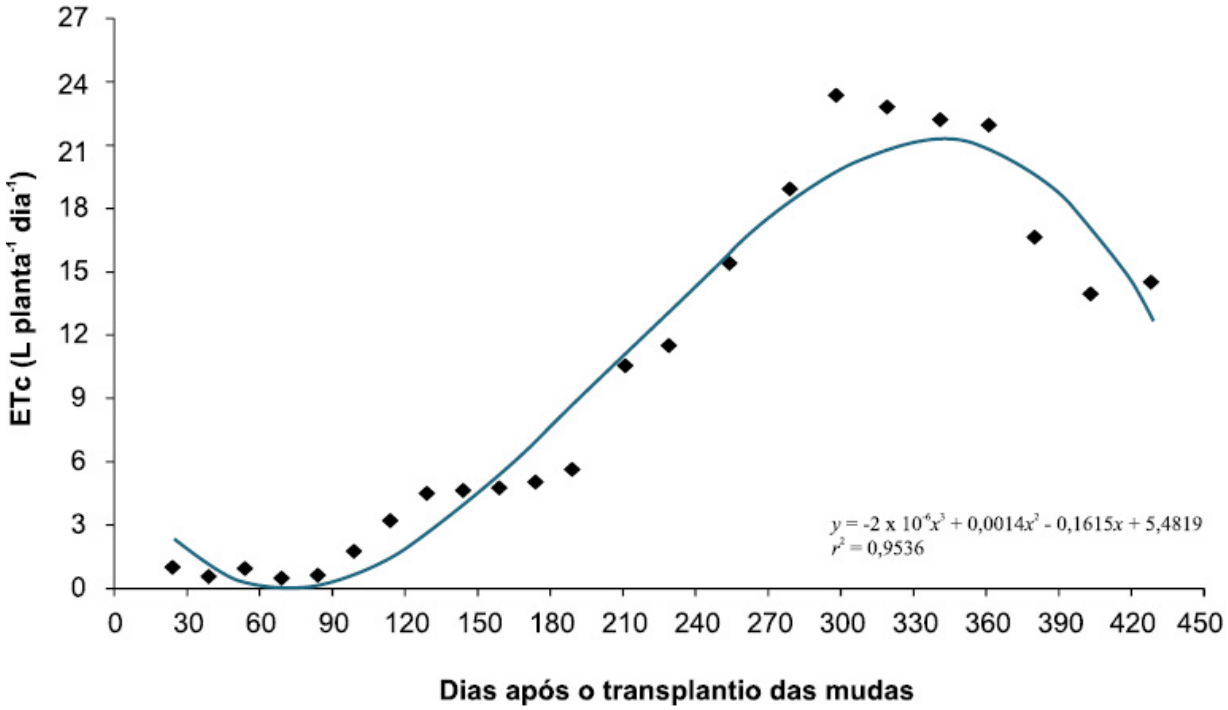


Figura 6. Evapotranspiração média do maracujazeiro determinada no período de maio de 1999 a julho de 2000 em lisímetros de drenagem.

Fonte: Sousa (2000).

Como abordado, a ascensão e as reduções no consumo de água pelo maracujazeiro, observadas ao longo do tempo, podem ser atribuídas às condições de demanda atmosférica e ao próprio desenvolvimento e crescimento das plantas. Nesse trabalho, os máximos valores de ETc foram registrados na fase de intenso crescimento vegetativo, frutificação e colheita, fase caracterizada pelo surgimento de ciclos alternados de vegetação e de produção, demandando grande quantidade de água.

Para o manejo de irrigação do maracujazeiro, podem-se tomar como referência os valores de Kc obtidos por Souza et al. (2000) a partir

da evapotranspiração da cultura (*ETc*) determinada em lisímetro de drenagem, ajustados a vários métodos de estimativa de *ETo*. Os maiores valores de *Kc* (máximo de 1,48) foram obtidos pelo método de Thornthwait para a estimativa da *ETo*. Para os métodos do tanque Classe A e Penman-Monteith, os valores de *Kc* foram próximos, 1,24 e 1,16, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios da evapotranspiração da cultura (*ETc*) e dos coeficientes de cultivo (*Kc*) para o maracujazeiro amarelo, determinados a partir de valores de *ETo* estimados pelos métodos Penman-Monteith, *Kc* (PM); tanque Classe A, *Kc* (CA); Thornthwait, *Kc* (TH); Hargreaves-Samani, *Kc* (HS); e Linacre, *Kc* (Ln), para a região de Piracicaba, SP.

Subperíodos (dia/mês)	ETc (mm dia^{-1})	Valores de Kc				
		Kc (CA)	Kc (PM)	Kc (TH)	Kc (HS)	Kc (Ln)
21/5–4/6	0,84	0,38	0,38	0,54	0,27	0,21
5/6–19/6	0,79	0,37	0,41	0,56	0,32	0,21
20/6–4/7	0,45	0,20	0,37	0,29	0,16	0,12
5/7–19/7	0,39	0,16	0,41	0,21	0,13	0,09
20/7–3/8	0,52	0,20	0,51	0,28	0,16	0,12
4/8–19/8	1,49	0,55	0,64	0,80	0,40	0,31
20/8–2/9	2,62	0,77	0,76	1,13	0,59	0,55
3/9–17/9	3,74	1,14	0,86	1,42	0,87	0,75
18/9–2/10	3,83	0,95	0,89	1,43	0,80	0,77
03/10–17/10	3,92	0,97	0,94	1,33	0,80	0,80
18/10–1/11	4,41	1,18	1,02	1,48	0,89	0,89
2/11–16/11	4,93	1,24	1,16	1,48	0,98	0,94

Fonte: Sousa et al. (2000).

O suprimento de água à cultura deve ser feito para manter a planta com água facilmente disponível no volume compreendido pela zona radicular. Como referência, o potencial mátrico (ψ_m), ou o armazenamento mínimo, deve ser considerado no manejo de água. Para o maracujazeiro, o potencial mátrico adequado ao

desenvolvimento e à produção da cultura situa-se entre -6 kPa e -20 kPa para solos de textura média a argilosa, respectivamente (MENZEL et al., 1986). Trabalho de Staveley e Wolstenholme (1990) corroboram a informação anterior. Os autores concluíram que o potencial de água no solo para o maracujazeiro não deve ser inferior a -20 kPa durante os períodos críticos de diferenciação de flores e pegamento de frutos.

Menzel et al. (1986) destacam ainda que valores de potencial matricial inferiores a -10 kPa podem limitar severamente o desenvolvimento vegetativo e o potencial produtivo, pois a produção de matéria seca é afetada muito antes do aparecimento visual dos sintomas provocados pelo deficit hídrico. Nesse caso, os autores sugerem que, para o maracujazeiro, o ideal é promover irrigações frequentes, de modo que se mantenha o solo próximo da capacidade de campo, principalmente nos períodos de floração e de frutificação.

Exigências nutricionais

O maracujazeiro amarelo possui ciclos alternados de vegetação e de produção, que são mais intensos no início da primavera e estendem-se até o final do outono. Esse comportamento requer que o pomar esteja em ótimo estado nutricional em todas as fases do processo produtivo, pois, desde o início da frutificação, há grande demanda por energia na planta e forte drenagem de nutrientes das folhas para os frutos em desenvolvimento. Esses fatores reduzem a intensidade vegetativa da planta, por isso há necessidade de um

esquema de adubação que permita a manutenção da cultura em estado nutricional adequado.

O nitrogênio e o potássio são os macronutrientes requeridos em maior proporção pelo maracujazeiro, seguidos pelo cálcio, enxofre e fósforo. As quantidades absorvidas desses elementos são pequenas até os 190 dias de idade. A partir daí, a absorção de nitrogênio, potássio e cálcio é crescente. Para os demais elementos, o aumento só se verifica a partir do 250º dia. De acordo com Baumgartner et al. (1978) e Primavesi e Malavolta (1980), o maracujazeiro amarelo apresenta exigências nutricionais até os 262 dias após o plantio, nessa ordem: N > K > Ca > S > Mg > P > B > Mn > Zn > Cu >Mo. No entanto, somente as deficiências de N, S, Ca e Cu mostram um efeito acentuado no desenvolvimento das plantas do maracujazeiro. Contudo, é importante salientar que o maior aumento da absorção de N, P e Ca ocorre no período da pré-frutificação, cujos acúmulos de nitrogênio e de potássio são mais intensos nos frutos, estabilizando-se no amadurecimento (KLIEMANN et al., 1986). A quantidade total de nutrientes removida pela planta inteira, incluindo os frutos de maracujá amarelo, aos 370 dias de idade, com 1.500 plantas ha^{-1}, apresenta-se na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidades de nutrientes extraídos pelo maracujazeiro amarelo.

Nutriente	Quantidade extraída ($kg\ ha^{-1}$)
Nitrogênio	205,000
Potássio	184,000
Cálcio	152,000
Enxofre	25,000
Fósforo	17,000
Magnésio	14,000

Manganês	2,810
Ferro	0,779
Zinco	0,317
Boro	0,296
Cobre	0,199

Considerando-se que somente os frutos são retirados do campo, o potássio é o nutriente mais exportado (73,80 kg ha^{-1}), seguido do nitrogênio (44,55 kg ha^{-1}). As quantidades de fósforo (6,90 kg ha^{-1} de P), cálcio (6,75 kg ha^{-1}), magnésio e enxofre (4,05 kg ha^{-1}) exportadas pelos frutos são pequenas. Apesar da grande quantidade de cálcio na planta, somente 4,5% são exportados pelos frutos. Por sua vez, 40% do fósforo e potássio absorvidos são exportados.

No que dia respeito aos micronutrientes, o manganês é o mais absorvido. Apesar de esse elemento ser encontrado em maior quantidade nos frutos, comparado aos outros micronutrientes, somente 6,4% são exportados. Nesse aspecto, o zinco (34%) e o cobre (32%) são os que possuem os maiores índices, seguidos do boro (13%) e do ferro (11%).

A absorção de nutrientes é pequena entre os 220 e os 250 dias (sétimo e oitavo mês) de idade, em razão da baixa produção de matéria seca. Após o aparecimento dos frutos (oitavo e nono mês), o crescimento torna-se exponencial, aumentando assim a absorção de N, K e Ca e dos micronutrientes, principalmente Mn e Fe.

Além do nível de fertilidade no solo, os fatores climáticos afetam a absorção e a acumulação de nutrientes pelo maracujazeiro amarelo. A máxima acumulação de nutrientes na parte aérea das plantas ocorre com temperaturas diurnas e noturnas em torno de 25 °C e

20 °C, respectivamente. Os níveis de potássio na planta aumentam com a temperatura, enquanto os de nitrogênio, enxofre e magnésio diminuem (MENZEL et al., 1987).

O potássio é o elemento de maior mobilidade na planta e passa com facilidade de uma célula para outra e do xilema para o floema. Por isso, é o componente mineral de maior expressão nos processos osmóticos da planta, os quais envolvem absorção e armazenamento de água. O potássio tem o papel fundamental na translocação de assimilados das folhas para as diversas partes da planta, principalmente para os frutos. A deficiência de potássio no maracujazeiro amarelo provoca atraso da floração, redução do tamanho dos frutos e da área foliar, afetando, consequentemente, a fotossíntese e o conteúdo de sólidos solúveis nos frutos (BAUMGARTNER et al., 1978; KLIEMANN et al., 1986; RUGGIERO et al., 1996).

A deficiência de potássio no maracujazeiro provoca redução da ramificação, do comprimento e do diâmetro dos ramos. A frutificação é intensa, porém o pegamento de frutos é reduzido, e aqueles que se formam são pequenos, resultando em baixas produtividades, com frutos de casca mais espessa, reduzido número de sementes e baixa quantidade de suco (QUAGGIO; PIZA JÚNIOR, 1998). Na Figura 7, pode ser observada a resposta positiva do maracujazeiro amarelo em razão de níveis de fertirrigação do potássio.

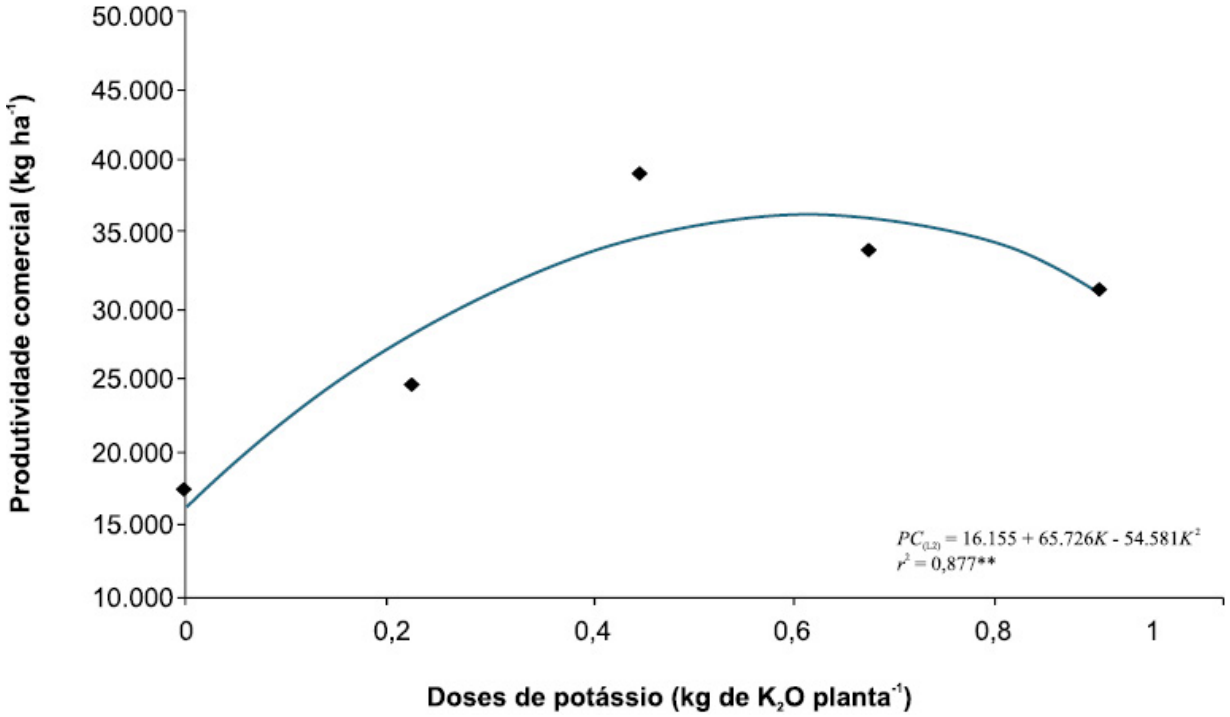


Figura 7. Efeito de doses de potássio por fertirrigação na produtividade do maracujazeiro amarelo.

Fonte: Sousa et al. (2003).

Necessidade de nutrientes para fertirrigação

A utilização conjunta das informações resultantes de pesquisas de adubação da cultura na região e a análise foliar têm sido recomendadas para os produtores de frutas como referência para fertirrigação. A diagnose foliar é uma técnica importante para a fruticultura. Para que essa ferramenta seja utilizada adequadamente, é necessário que se observem principalmente a época e a posição das folhas amostradas. Para a cultura do maracujá amarelo, recomenda-se amostrar a terceira ou a quarta

folha a partir do ápice de ramos não sombreados, tomando-se quatro folhas por planta, dos dois lados, conservando-se o pecíolo. A Tabela 4 apresenta as faixas adequadas de teores de macro e micronutrientes em folhas do maracujazeiro amarelo.

Tabela 4. Faixas adequadas de teores de macro e micronutrientes em folhas de maracujazeiro amarelo.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(g kg^{-1})						(mg kg^{-1})				
47,5–52,5	2,5–3,5	20–25	5–15	2,5–3,5	2,0–4,0	25–100	5–20	100–200	50–200	45–80

Fonte: **Wichmann** (1992).

Na adubação de plantio, podem-se aplicar por cova (0,5 m x 0,5 m x 0,5 m) 20 L de esterco bovino curtido ou 5 L de esterco de galinha e 300 g de calcário dolomítico, em solo ácido (pH em água < 6,0). Quando o P no solo estiver abaixo de 8 mg dm^{-3}, aplicar 120 g de P_2O_5 por cova; se o P no solo estiver acima de 8 mg dm^{-3}, aplicar 80 g de P_2O_5 por cova. Recomenda-se, também, aplicar 50 g de FTE BR12 por cova.

Para as adubações nos períodos de formação, do transplantio das mudas até os 120 dias e de produção, as quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes podem ser determinadas de acordo com as recomendações apresentadas nas Tabelas 5, 6, 7 e 8. Para solos com teores de P acima de 18 mg dm^{-3} (solos argilosos), acima de 30 mg dm^{-3} (solos de textura média) e acima de 45 mg dm^{-3} (solos arenosos), pode ser dispensada a adubação fosfatada.

Tabela 5. Recomendação de adubação de formação com nitrogênio e potássio para o maracujazeiro amarelo.

Época (dias após o plantio)	K trocável ($mmol_c\ dm^{-3}$)					
	N	0–0,7	0,8–1,5	1,6–3,0	3,1–5,0	> 5,0
	($kg\ ha^{-1}$)					
30	10	20	10	-	-	0
60	20	30	20	10	-	0
90	30	40	30	20	10	0
120	40	60	40	30	20	0
Total	**100**	**150**	**100**	**60**	**30**	**0**

Tabela 6. Recomendação de adubação de formação fosfatada para o maracujazeiro amarelo.

Produtividade esperada	P no solo (resina) ($mg\ dm^{-3}$)		
	0–15	16–40	> 40
($t\ ha^{-1}$)	($kg\ ha^{-1}\ P_2O_5$)		
< 15	50	30	20
15 a 25	90	60	40
25 a 35	120	80	50
> 35	150	100	60

Tabela 7. Recomendação de adubação de produção com nitrogênio e potássio para o maracujazeiro amarelo.

Produtividade esperada	N	K solo				
		0–0,7	0,8–1,5	1,6–3,0	3,1–6,0	> 6,0
($t\ ha^{-1}$)	($kg\ ha^{-1}$)	($mmol_c\ dm^{-3}$)				
< 15	50	100	90	70	50	0
15 a 25	70	160	120	90	70	0
25 a 35	90	200	160	120	80	0
> 35	120	250	200	150	100	0

Tabela 8. Recomendação de adubação com micronutrientes para o maracujazeiro amarelo.

Elemento	Classe de fertilidade	Teor no solo (mg dm^{-3})	Dose de nutriente (kg ha^{-1})
B (água quente)	Baixa	< 0,2	2
	Média	0,21 a 0,6	1,0
	Alta	> 0,6	0
Zn	Baixa	< 0,5	6
	Média	0,6 a 1,2	3
	Alta	> 1,2	0

O parcelamento das adubações deve ser feito segundo a textura e a capacidade de troca de cátions (*CTC*) do solo. Em solos arenosos e com baixa *CTC*, parcelar semanalmente ou quinzenalmente. Em solos mais argilosos, as adubações podem ser feitas mensalmente ou a cada dois meses, principalmente nas aplicações via solo.

Marcha de absorção de nutrientes

Para efetuar um bom manejo da fertirrigação, é necessário conhecer como ocorre a distribuição da absorção dos nutrientes no ciclo da cultura. Em razão da sua complexidade na determinação, são poucas essas informações na literatura, principalmente para as fruteiras. De maneira geral, a absorção de macronutrientes, principalmente N, P e K, pelas culturas segue a mesma tendência do acúmulo de matéria seca (PAPADOPOULOS, 1999). Portanto, na ausência da curva de absorção de nutrientes, o acúmulo de matéria seca dá uma boa aproximação.

A quantidade de nutrientes recomendada deve ser distribuída no ciclo da cultura de acordo com a sua marcha de absorção, que pode

ser representada, em termos percentuais, conforme descrição da Tabela 9. O período compreendido entre 10 e 130 dias corresponde à fase de formação da cultura. A partir daí, a cultura entra na fase de produção (primeiro ano). Para os ciclos produtivos seguintes, segundo e terceiro anos, adota-se a mesma distribuição do período de produção no primeiro ano.

Tabela 9. Distribuição percentual de nitrogênio (N) e potássio (K_2O) no ciclo fenológico do maracujazeiro amarelo.

Período (dia)	N	(K_2O)
	%	
	Formação	
10–40	2,5	1,5
40–70	3,0	2,0
70–100	3,5	3,0
100–130	4,0	3,5
	Produção	
130–160	4,5	4,0
160–190	5,0	4,5
190–220	5,5	5,0
220–250	6,5	5,5
250–280	9,0	9,0
280–310	14,0	16,5
310–340	19,5	20,5
340–370	23,0	25,0

Fonte: adaptado de Haag et al. (1973) e Sousa (2000).

No âmbito geral, a frequência da fertirrigação depende, dentre outros fatores, do tipo de fertilizante, solo, cultura, salinidade e sistema de irrigação. A aplicação de nitrogênio e potássio via água de irrigação no maracujazeiro amarelo pode ser conduzida com

frequência entre 3 e 7 dias. No caso do nitrogênio, recomenda-se que, em solo arenoso, sua aplicação seja realizada com a frequência de cerca de 3 dias.

Exemplo prático

Com as informações apresentadas a seguir e com os dados de distribuição percentual de nutrientes no ciclo da cultura (Tabela 10), efetuam-se os cálculos para o manejo de fertirrigação no maracujazeiro amarelo.

1. Cultura: maracujá
2. Área total (AT): 2 ha
3. Área do setor (AS): 0,5 ha
4. Espaçamento da cultura: 3,5 m x 4,0 m
5. Frequência de fertirrigação (F): 3 dias
6. Tempo de fertirrigação (Tf): 1 hora
7. Sistema de irrigação: gotejamento
   Vazão do emissor (qe): 4 L h^{-1}
   Número de emissores por planta: 5
8. Densidade do solo (d): 1,5 g cm^{-3}
9. Profundidade da raiz (z): 0,4 m
10. Nutrientes disponíveis (nd)
    Nitrogênio (N): 0
    Fósforo (P): 0
    Potássio (K): 0,51 $Cmol_c$ dm^{-3}
11. Dose de nutrientes recomendada (Dr)
    Nitrogênio: 480 g $planta^{-1}$ ~ 343 kg ha^{-1}
    Potássio: 675 g $planta^{-1}$ ~ 482 kg ha^{-1}
12. Massa de nutriente existente na água de irrigação (Mna)
    Nitrogênio: 0
    Potássio: 0

Tabela 10. Distribuição percentual de nutrientes no ciclo da cultura (Dpn).

Período	N	K_2O
	%	
	Formação	
10–40	2,5	1,5
40–70	3,0	2,0
70–100	3,5	3,0
100–130	4,0	3,5
	Produção	
130–160	4,5	4,0
160–190	5,0	4,5
190–220	5,5	5,0
220–250	6,5	5,5
250–280	9,0	9,0
280–310	14,0	16,5
310–340	19,5	20,5
340–370	23,0	25,0

Cálculos da necessidade de fertilizante

1) Massa do solo ocupada pelas raízes (*ms*)

$ms = z \times d \times 10^4$

em que *ms* é a massa do solo (t ha^{-1}), *d* a densidade do solo (t m^{-3}) e *z* a profundidade efetiva das raízes (m).

Assim, considerando que 1g cm^{-3} = 1 t m^{-3}, a massa do solo é:

$ms = 0{,}4 \times 1{,}50 \times 10^4 = 6.000\ t\ ha^{-1}$

2) Massa de nutriente disponível no solo (*mns*)

$mns = ms \times nd \times 10^{-3}$

• Massa de nitrogênio disponível no solo (*mNs*): 0

• Massa de potássio disponível no solo (mK_2Os)

$$mK_2Os = \frac{6.000 \times 0{,}51 \times 0{,}01840}{1{,}5} = 37{,}54 \text{ kg ha}^{-1}$$

3) Dose de nutriente necessária (*Dnn*)

$$Dnn = \frac{Dr - mns - mna}{EFf}$$

• EFf (eficiência de fertirrigação) = 0,9

• DNn (dose de nitrogênio necessária)

$$DNn = \frac{343 - 0 - 0}{0{,}9} = 381 \text{ kg ha}^{-1}$$

• DK_2On (dose de potássio necessária)

$$DK_2On = \frac{482 - 37{,}5 - 0}{0{,}9} = 494 \text{ kg ha}^{-1}$$

4) Seleção do fertilizante

• Nitrato de potássio (46% de K_2O e 14% de N)

• Ureia (45% de N)

5) Massa total de fertilizantes (*MTf*)

$$MTf = \frac{Dnn}{Pnf} \times AT$$

• Nitrato de potássio (*NP*)

$$MTNP = \frac{494}{0{,}46} \times 2 = 2.148 \text{ kg}$$

• Ureia

$$MTU = \frac{381 \times 2 - 2148 \times 0{,}14}{0{,}45} = 1.025 \text{ kg}$$

6) Número de setores (*Ns*)

$$Ns = \frac{AT}{AS} = \frac{2}{0{,}5} = 4$$

7) Massa de fertilizantes por setor (*Mfs*)

$$Mfs = \frac{MTf}{ns}$$

• Nitrato de potássio (*NP*)

$$MNPs = \frac{2.148}{4} = 537 \text{ kg}$$

• Ureia (*U*)

$$MUs = \frac{1.025}{4} = 256 \text{ kg}$$

8) Número de aplicações no período do ciclo da cultura (*Na*)

$$Na = \frac{30}{3} = 10 \quad \text{aplicações}$$

9) Massa do fertilizante por aplicação (*Mfa*)

$$Mfa = \frac{Mfs \times dpm}{Na}$$

• Nitrato de potássio (*NP*)

$$Mfa(10 - 40)(1) = \frac{537 \times 0{,}015}{10} = 0{,}8055 \text{ kg}$$

$$Mfa(40\text{ - }70)\,(2) = \frac{537 \times 0{,}02}{10} = 1{,}074 \text{ kg}$$

$$Mfa(70\text{ - }100)\,(3) = \frac{537 \times 0{,}03}{10} = 1{,}611 \text{ kg}$$

$$Mfa(100\text{ - }130)\,(4) = \frac{537 \times 0{,}035}{10} = 1{,}879 \text{ kg}$$

$$Mfa(130\text{ - }160)\,(5) = \frac{537 \times 0{,}04}{10} = 2{,}148 \text{ kg}$$

$$Mfa(160\text{ - }190)\,(6) = \frac{537 \times 0{,}045}{10} = 2{,}416 \text{ kg}$$

$$Mfa(190\text{ - }220)\,(7) = \frac{537 \times 0{,}05}{10} = 2{,}685 \text{ kg}$$

$$Mfa(220\text{ - }250)\,(8) = \frac{537 \times 0{,}055}{10} = 2{,}953 \text{ kg}$$

$$Mfa(250\text{ - }280)\,(9) = \frac{537 \times 0{,}09}{10} = 4{,}833 \text{ kg}$$

$$Mfa(280\text{ - }310)\,(10) = \frac{537 \times 0{,}165}{10} = 8{,}8605 \text{ kg}$$

$$Mfa(310\text{ - }340)\,(11) = \frac{537 \times 0{,}205}{10} = 11{,}01 \text{ kg}$$

$$Mfa(340\text{ - }370)\,(12) = \frac{537 \times 0{,}25}{10} = 13{,}425 \text{ kg}$$

• Ureia (U)

$$Mfa(10\text{ - }40)\,(1) = \frac{256 \times 0{,}025}{10} = 0{,}64 \text{ kg}$$

$$Mfa(40\text{-}70)(2) = \frac{256 \times 0{,}03}{10} = 0{,}768 \text{ kg}$$

$$Mfa(70\text{-}100)(3) = \frac{256 \times 0{,}035}{10} = 0{,}896 \text{ kg}$$

$$Mfa(100\text{-}130)(4) = \frac{256 \times 0{,}04}{10} = 1{,}024 \text{ kg}$$

$$Mfa(130\text{-}160)(5) = \frac{256 \times 0{,}045}{10} = 1{,}152 \text{ kg}$$

$$Mfa(160\text{-}190)(6) = \frac{256 \times 0{,}05}{10} = 1{,}28 \text{ kg}$$

$$Mfa(190\text{-}220)(7) = \frac{256 \times 0{,}055}{10} = 1{,}408 \text{ kg}$$

$$Mfa(220\text{-}250)(8) = \frac{256 \times 0{,}065}{10} = 1{,}664 \text{ kg}$$

$$Mfa(250\text{-}280)(9) = \frac{256 \times 0{,}09}{10} = 3{,}304 \text{ kg}$$

$$Mfa(280\text{-}310)(10) = \frac{256 \times 0{,}14}{10} = 3{,}584 \text{ kg}$$

$$Mfa(310\text{-}340)(11) = \frac{256 \times 0{,}195}{10} = 4{,}992 \text{ kg}$$

$$Mfa(340\text{-}370)(12) = \frac{256 \times 0{,}23}{10} = 5{,}888 \text{ kg}$$

Cálculos da solução fertilizante

1) Vazão do setor (*Qs*)

Qs = *ne* x *qe*

em que *ne* é o número de emissores no setor (*ne* = *357* x *5* = *1.785* emissores) e *qe* a vazão do emissor = *4 L* h^{-1}.

Qs = *1.785* x *4* = *7.140 L* h^{-1}

2) Taxa de injeção da solução fertilizante (*qi*)

qi = *ri* x *Qs*

em que *ri* é a razão de injeção da solução fertilizante = 0,005.

qi = *0,005* x *7.140* = *35,70 L* h^{-1}

3) Concentração do fertilizante na água de irrigação (*CFAI*)

$$CFAI = \frac{MFa \times 10^3}{(qi \times Tf) + (Qs \times Tf)}$$

• Nitrato de potássio

$$CFAI = \frac{0{,}8055 \times 10^3}{(35{,}7 \times 1) + (7140 \times 1)} = 0{,}11225 \text{ g L}^{-1}$$

• Ureia

$$CFAI = \frac{0{,}64 \times 10^3}{(35{,}7 \times 1) + (7140 \times 1)} = 0{,}0891 \text{ g L}^{-1}$$

4) Concentração do fertilizante na solução a ser injetada (*CFSI*)

$$CFSI = \frac{CFAI}{ri}$$

• Nitrato de potássio

$$CFSI = \frac{0{,}11225}{0{,}005} = 22{,}45 \text{ g L}^{-1}$$

• Ureia

$$CFSI = \frac{0{,}0891}{0{,}005} = 17{,}82 \text{ g L}^{-1}$$

5) Volume de água necessário (Va) para preparar a solução fertilizante

• Nitrato de potássio

$$VaNP = \frac{MFa}{CFSI} = \frac{805{,}5}{22{,}45} \approx 35{,}9 \text{ L}$$

• Ureia

$$VaU = \frac{MFa}{CFSI} = \frac{640}{17{,}82} \approx 35{,}9 \text{ L}$$

6) Volume de água total (*VT*)

$VT = VaNP + VaU = 35{,}9 + 35{,}9 = 71{,}8$ L

7) Tempo total de fertirrigação (*Tft*)

$Tft = Tf \times ns$

$Tft = 1 \times 4 = 4$ h

Referências

ALENCAR, C. de A. **Consumo de água do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims var *flavicarpa* Deg)**. 2000. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BAUMGARTNER, J. G.; LOURENÇO, R. S.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral e adubação do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims f*. flavicarpa* Deg.) V. adubação mineral. **Científica**, Jaboticabal, v. 6, n. 3, p. 361-367, 1978.

COSTA, E. L. da; SOUSA, F. V. de; NOGUEIRA, L. C.; SATURNINO, H. M. Irrigação da cultura do maracujazeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 206, p. 59-66, 2000.

HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D.; BORDUCHI, A. S.; SARRUGE, J. R. Absorção de nutrientes por duas variedades de maracujá. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 30, p. 267-279, 1973.

IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.* **Sistema IBGE de Recuperação Automática**: SIDRA. 2008. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 31 maio 2010.

KLIEMANN, H. J.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; AZEVEDO, J. A. de; GUILHERME, M. R.; GENU, P. J. de C. Nutrição mineral e adubação do maracujazeiro. In: HAAG, H. P. (Ed.). **Nutrição mineral e adubação de fruteiras tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 247-284.

MANICA, I. **Fruticultura tropical**: maracujá. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 151 p.

MARTINS, D. P.; CARVALHO, A. J. C. de; BERNARDO, S.; MONNERAT, P. H. Produtividade do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims var. *flavicarpa* Deg.) em função das lâminas totais de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais**... Poços de Caldas, 1998. v. 2, p. 214-216.

MELETTI, L. M. M. **Maracujá**: produção e comercialização em São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 26 p. (Boletim Técnico, 158).

MENZEL, C. M.; SIMPSON, D. R.; DOWLING, A. J. Water relations in passion fruit: effect of moisture stress on growth, flowering and nutrient uptake. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, NL, v. 29, p. 239-349, 1986.

MENZEL, C. M.; SIMPSON, D. R.; WINKS, C. W. Effect of temperature on growth, flowering and nutrient uptake of three passion fruit cultivars under low irridiance. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, NL, v. 31, n. 3/4, p. 259-268, 1987.

NOGUEIRA, L. C.; TAVARES, E. D.; NOGUEIRA, L. R. Q.; SANTANA, C. E.; GORNAT, B. Efeito de sistemas de irrigação localizada na cultura do maracujá em solo de tabuleiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 15., 1998, Poços de Caldas. **Anais**... Poços de Caldas: SBF, 1998. p. 575.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-84.

PRIMAVESI, A. C. P. A.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do maracujá amarelo: VI. efeitos dos macronutrientes no desenvolvimento e composição mineral das

plantas. **Anais da Escola Superior de Agricultura ‘’Luiz de Queiroz’’**, Piracicaba, v. 37, n. 2, p. 609-630, 1980.

QUAGGIO, J. A.; PIZA JÚNIOR, C.de T. Nutrição mineral e adubação da cultura do maracujá. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DO MARACUJÁ, 5., 1998, Jaboticabal. **Anais**... Jaboticabal: Funep, 1998. p. 130-156.

RUGGIERO, C.; SÃO JOSÉ, A. R.; VOLPE, C. A.; OLIVEIRA, J. C. de; DURIGAN, J. F.; BAUMGARTNER, J. G.; SILVA, J. R. W.; NAKAMURA, K.; FERREIRA, M. E.; KAVATI, R.; PEREIRA, V. de P. **Maracujá para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1996. 64 p. (FRUPEX. Publicações Técnicas, 19).

SIMON, P.; KARNATZ, A. Effect of soil and air temperature on growth and flower formation of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 139, p. 120-128, 1983.

SOUSA, V. F. de. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. *f. flavicarpa* Deg)**. 2000. 178 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUSA, V. F. de; ALENCAR, C. M.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. de L. Coeficientes de cultivo para o maracujazeiro amarelo no período de desenvolvimento vegetativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **CONBEA 2000**: construindo a engenharia agrícola do futuro: anais... Fortaleza: SBEA: UFC, 2000. 1 CD-ROM.

SOUSA, V. F. de; FOLEGATTI, M. V.; COELHO FILHO, M. A.; FRIZZONE, J. A. Distribuição radicular do maracujazeiro sob diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 6, n. 1, p. 51-56, 2002.

SOUSA, V. F. de; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. de L.; ELOI, W. M. Produtividade do maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio via fertirrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 4, p. 497-505, 2003.

STAVELEY, G. W.; WOLSTENHOLME, B. N. Effects of water stress on growth and flowering of *Passiflora edulis* (Sims) grafted to *P.Caerulea* L. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 275, p. 251-258, 1990.

URASHIMIA, A. S. **Aspectos fenológicos do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. var. *flavicarpa* Den.)**. Botucatu: FCA-UNESP, 1985. 83 p.

VASCONCELLOS, M. A. S.; CEREDA, E. O cultivo do maracujá doce. In: SÃO JOSÉ, A. R. (Ed.). **Maracujá**: produção e mercado. Vitória da Conquista: DFZ: UESB, 1994. p. 71-83.

WICHMANN, W. (Ed.). **IFA world fertilizer use manual**. Limburgerhof: BASF Agricultural Research Station, 1992. 632 p.

Capítulo 18

Irrigação e fertirrigação na cultura da uva

Marco Antônio Fonseca Conceição
Davi José Silva
José Maria Pinto

Introdução

A videira é uma planta que pertence à família das vitáceas, cujas espécies mais cultivadas são as do gênero *Vitis*, destacando-se as videiras europeias (*Vitis vinifera* L.), as americanas (*Vitis labrusca* L. e *Vitis bourquina* L.) e as híbridas, provenientes de cruzamentos entre as diferentes espécies (KUHN et al., 1996). O seu cultivo comercial ocorre numa ampla faixa do globo terrestre, entre as latitudes 52°N e 40°S e, muitas vezes, em condições áridas e semiáridas, o que torna imprescindível nesses casos o uso da irrigação (SENTELHAS, 1998).

A irrigação tem sido utilizada para a videira em diferentes regiões do mundo, principalmente para variedades de mesa. Em regiões áridas e semiáridas, a irrigação é a principal fonte de água para a cultura, enquanto em outros locais ela pode ser usada de forma complementar à precipitação pluvial.

Em condições tropicais, a videira pode produzir continuamente em razão das condições de temperatura presentes nessas regiões. Apesar disso, um período de repouso de 20 a 30 dias entre o final de uma safra e o início de outra deve ser respeitado. Nesse período, a umidade do solo deve ser mantida adequada, a fim de evitar o deficit hídrico, que poderia comprometer a brotação e a produção no ciclo seguinte (ALBUQUERQUE, 1996; DOORENBOS; KASSAM, 1979).

Diferentes tipos de solo têm sido utilizados para o cultivo da videira. De um modo geral, o seu desempenho é melhor em solos leves, profundos e com boa drenagem, uma vez que solos pesados, compactos e com baixa capacidade de drenagem são limitantes para o desenvolvimento da cultura (TERRA, 2001). Em solos profundos, o sistema radicular da videira pode atingir vários metros de profundidade (TERRA et al., 1998). De uma maneira geral, contudo, a maior parte das raízes concentra-se até os primeiros 0,60 m de profundidade, principalmente em irrigação localizada (ARAUJO et al., 1995; BASSOI; MIRANDA, 1997; BASSOI et al., 2003; CHADHA; SHIKHAMANY, 1999; PIRES et al., 1997; SANTOS et al., 2002).

De acordo com Smart (1985), o microclima em um parreiral depende, basicamente, do total e da distribuição da área foliar no espaço e de sua interação com o clima acima do solo. Por isso o sistema de condução é de central importância. Da radiação incidente em uma folha de videira, são absorvidos de 85% a 90%. Folhas expostas transpirando ativamente são aquecidas a menos de 5 °C acima da temperatura do ar (*Tar*), e à noite podem estar de 1 °C a 3 °C abaixo de Tar por causa da radiação de ondas longas. A velocidade do vento também é menor no centro das copas mais

densas. Dessa forma, a evapotranspiração no centro do dossel é reduzida em virtude dos menores níveis de radiação e de velocidade do vento.

Sistemas de irrigação

Vários sistemas podem ser empregados para a irrigação da videira, dependendo das condições de solo e clima do local, bem como da disponibilidade de equipamentos e recursos financeiros. No Brasil, a maior parte das áreas irrigadas com a cultura localiza-se em regiões de topografia elevada e em solos de textura média a arenosa. Por essa razão, a irrigação é realizada, principalmente, empregando-se sistemas sob pressão, como a aspersão, a microaspersão e o gotejamento.

Irrigação por aspersão

Os sistemas por aspersão podem ser fixos ou portáteis. Nos sistemas fixos, as tubulações são mantidas nas parreiras, e isso os torna mais caros; porém, demandam menos mão de obra. Nos sistemas portáteis, por sua vez, as tubulações, e\ou os aspersores, são removidos após a irrigação, o que reduz o custo inicial, requerendo, contudo, mais mão de obra. Os sistemas portáteis são indicados, preferencialmente, para pequenas áreas e têm um dos menores custos de implantação.

Os sistemas por aspersão podem aplicar a água por baixo das folhas (subcopa) ou por cima das folhas (sobrecopa). Nos sistemas

subcopa (Figura 1a), há uma interferência dos troncos das plantas nos jatos de água, o que prejudica a uniformidade de distribuição. Os sistemas sobrecopa (Figura 1b) molham as folhas, por isso aumentam as chances de ocorrência de doenças fúngicas. Além disso, apresentam maiores perdas de água durante a aplicação em razão da evaporação e do arraste pelo vento. O vento e a intercepção da água pelas folhas também afetam a uniformidade de distribuição de água.



Figura 1. Aspersores subcopa (A) e sobrecopa (B).

Fotos: Marco Antônio Fonseca Conceição

As perdas durante a irrigação poderiam ser minimizadas por meio da aplicação de água durante os períodos de menor incidência de ventos e menor radiação solar, de preferência à noite. A aplicação noturna, entretanto, amplia a duração do período de molhamento das folhas, e aumentam as chances de desenvolvimento de patógenos.

Em sistemas por aspersão, deve-se verificar se a taxa de aplicação é menor do que a velocidade de infiltração da água no solo. Caso

isso não ocorra, parte da água aplicada poderá ficar empoçada ou, em alguns casos, escorrer superficialmente. Esses empoçamentos reduzem a aeração do solo, diminuem o volume de água infiltrada, aumentam as perdas por evaporação e criam um ambiente propício ao desenvolvimento de doenças.

As vazões e as pressões dos sistemas de aspersão são, normalmente, de média a alta, exigindo motobombas de maior potência do que as empregadas na irrigação localizada. Esses sistemas não apresentam problemas de entupimento de emissores, por isso não exigem o uso de equipamentos de filtragem. A sua necessidade de manutenção é, normalmente, menor do que a dos sistemas de irrigação localizada.

Irrigação por gotejamento

Esses sistemas aplicam baixas vazões com altas frequências, muitas vezes diárias, pois o volume de solo umedecido é menor. Eles permitem, contudo, que outras práticas culturais possam ser efetuadas durante a aplicação de água, ao contrário da aspersão e da microaspersão.

Na irrigação por gotejamento, a porcentagem de área molhada por planta deve ser suficiente para manter o abastecimento hídrico adequado da cultura. Nos parreirais irrigados por gotejamento na região do Submédio São Francisco, tem-se observado, que, quanto maior é a área umedecida na camada de 0 m a 0,20 m de profundidade, melhor tem sido o desempenho da cultura, que só tem alcançado níveis satisfatórios quando a porcentagem de área molhada é superior a 40%.

Muitas vezes, as linhas de gotejadores são posicionadas na superfície do solo, e isso as torna mais suscetíveis a danos mecânicos. Esses danos podem ser minimizados, ao suspenderem-se as linhas de 0,20 m a 0,30 m da superfície por meio de um fio de arame galvanizado fixado nas estacas de madeira do parreiral. Em algumas propriedades, as linhas laterais são fixadas nos arames da latada (Figura 2), o que tem ampliado a porcentagem de área molhada em virtude da maior dispersão das gotas na superfície do solo. Além de evitar danos mecânicos, a suspensão das linhas de irrigação impede a sua perfuração pelas brocas que vivem no solo e que atacam os ramos secos da videira.

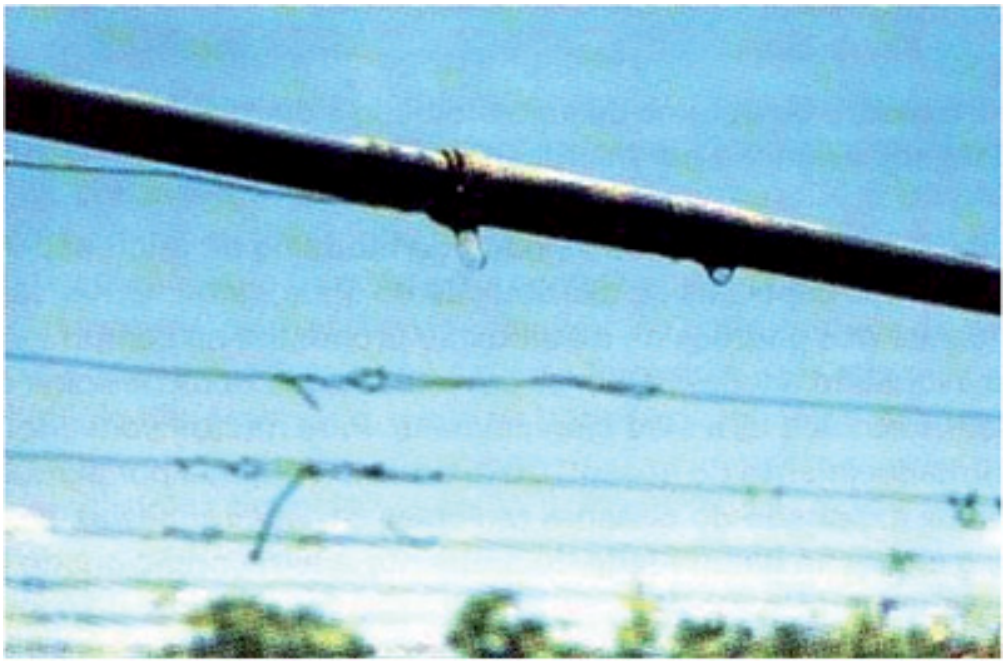


Figura 2. Linha de gotejadores fixada no arame de uma latada.

Foto: José Monteiro Soares

Os gotejadores são bastante suscetíveis ao entupimento, e necessitam, muitas vezes, além de filtros de tela ou discos, também de filtros de areia. No noroeste paulista, tem-se observado a

ocorrência de problemas sérios de entupimento dos gotejadores em razão, principalmente, do elevado conteúdo de ferro na água de irrigação.

Na irrigação por gotejamento, o manejo da adubação deve ser alterado, empregando-se, preferencialmente, a fertirrigação. Se os fertilizantes (ou matéria orgânica) forem aplicados em uma região do solo que não esteja umedecida, eles não ficarão disponíveis para as plantas.

Irrigação por microaspersão

Assim como no gotejamento, os sistemas de microaspersão também necessitam de filtros, mas é comum empregarem-se somente os de tela (ou discos), não necessitando, normalmente, de filtros de areia. O requerimento de pressão dos microaspersores é cerca de 20% a 30% maior do que no gotejamento, implicando, além de um maior consumo de energia, o uso de motobombas de maior potência. Nesses sistemas (Figura 3), podem ocorrer problemas com a entrada de insetos e aranhas nos microaspersores, o que prejudica a aplicação de água. Por isso, deve-se optar, sempre que possível, por microaspersores com dispositivos anti-insetos.



Figura 3. Sistema de irrigação por microaspersão em videiras.

Foto: Marco Antônio Fonseca Conceição

Os sistemas de microaspersão em parreiras umedecem, praticamente, 100% da área ocupada pelas plantas, o que permite maior expansão do sistema radicular em relação ao gotejamento. Frequentemente, apesar de a uniformidade de distribuição de água na superfície do solo pelos microaspersores apresentar valores relativamente baixos, a redistribuição da água no perfil do solo faz que essa uniformidade aumente, apresentando valores elevados. É evidente que essa redistribuição vai depender, principalmente, do espaçamento entre emissores e do tipo de solo. Conceição (2003a)

apresenta a distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo para microaspersores invertidos, suspensos na latada, em um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico com 66% de areia e 24% de argila, cultivado com videiras na região noroeste de São Paulo (Figura 4).

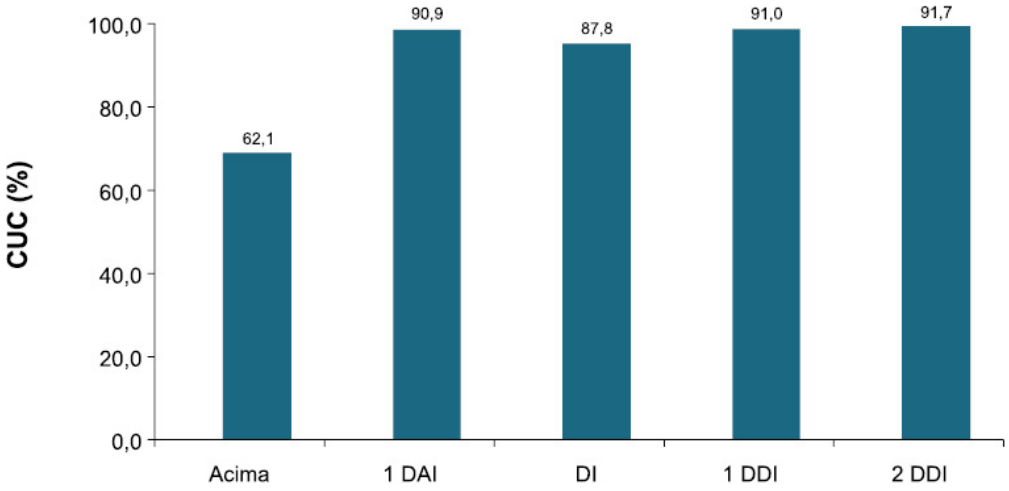


Figura 4. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) acima da superfície do solo (Acima) e abaixo da superfície do solo um dia antes da irrigação (1 DAI), no dia da irrigação (DI), um dia depois (1 DDI) e dois dias depois da irrigação (2 DDI).

Fonte: Conceição (2003a).

Na microaspersão, os emissores são normalmente posicionados a cada duas plantas e, se o espaçamento permitir, a cada duas fileiras, não havendo problemas de interferência dos troncos, como na aspersão subcopa. Os emissores de maiores vazões apresentam menos problemas de entupimento e tempos de irrigação menores, requerendo, contudo, maior custo inicial por exigirem tubulações de maior diâmetro e motobombas mais potentes. Sempre que possível, as tubulações devem ficar suspensas na parreira, evitando-se cortes por enxadas ou danos por animais.

Como nos outros métodos de irrigação, na microaspersão deve-se precaver em relação a equipamentos de baixa qualidade. Tubulações com pressão nominal menor que a requerida tendem a rachar com o tempo, e rotores (bailarinas) de qualidade inferior desgastam-se com o uso, prejudicando a aplicação de água.

Necessidades hídricas e coeficiente de cultura para a videira

Segundo Mullins et al. (1992), o uso da água por um vinhedo é caracterizado por uma baixa demanda tanto no início da fase de crescimento quanto após a colheita, e por uma alta demanda, quando o dossel está plenamente desenvolvido. A evapotranspiração (ETc) para vinhedos em formação é menor do que para os já estabelecidos.

Doorenbos e Kassam (1979) apresentam valores do coeficiente de cultura (Kc) para videiras variando entre 0,35 e 0,70 em condições de alta umidade relativa do ar (UR) e em baixas velocidades do vento (V), e de 0,55 a 0,90 em baixa UR e com altos valores de V, que são as condições que normalmente ocorrem em áreas vitícolas irrigadas.

Zyl e Huyssteen (1980), em um estudo realizado na África do Sul, compararam a evapotranspiração da cultura (ETc) para a videira em diferentes sistemas de condução: na forma de arbusto (AB), em espaldeira com três arames ($E3$), em espaldeira com cinco arames ($E5$) e em latada inclinada (LI). A condução tipo AB foi a que

apresentou o maior consumo hídrico, seguido por LI, $E5$ e $E3$. O valor maior de LI era esperado em razão da maior área foliar proporcionada. Mas a maior demanda determinada em AB decorreu dos maiores valores de temperatura e de velocidade do vento e de uma porcentagem de sombreamento de 28,5% menor do que em LI, o que afetou diretamente a ETc.

Peacock et al. (1987) apresentaram para a variedade Thompson Seddless, na Califórnia, EUA, cultivada em espaldeira e irrigada por gotejamento, valores de ETc que variaram conforme o desenvolvimento foliar da cultura de 0,2 mm dia^{-1} a 3,6 mm dia^{-1}, com um valor médio de ETc igual a 2,7 mm dia^{-1}. Os valores de Kc variaram de 0,04, no início do ciclo, a 0,41, a partir da nona semana e, até o final do ciclo, apresentaram um valor médio no período igual a 0,36.

Saayman e Lambrechts (1995), em um trabalho na África do Sul com a variedade Barlinka irrigada por microaspersão e gotejamento, apresentaram fatores para serem multiplicados pela evaporação do tanque Classe A variando entre 0,20 e 0,60, que correspondem a valores de Kc entre 0,29 e 0,86, assumindo-se um coeficiente do tanque Classe A (Kp) igual a 0,7.

Gurovich (1996) recomenda valores de Kc para a irrigação da videira no Chile, os quais variem de 0,10 na época de brotação a 0,90 no final do ciclo.

Yunusa et al. (1997a) realizaram um estudo no sudoeste da Austrália para avaliar o consumo de água pela cultura da videira, variedade Sultana (*Vitis vinifera* L.) sob pé-franco (PF) e com porta-enxerto (PE), conduzidas em espaldeira e irrigadas por gotejamento. Os autores verificaram que a evaporação da água do solo

correspondeu a 62% e 49% da ETc para as plantas sob pé-franco e enxertadas respectivamente, cuja diferença ocorreu em virtude de um maior sombreamento do solo proporcionado pelas PE. As baixas taxas de transpiração devem-se à baixa fração da energia radiante interceptada pelo dossel e ao fato de a videira fechar seus estômatos quando a umidade do ar é baixa, mesmo que o solo esteja bem-suprido de água. Esse trabalho permitiu observar que, mesmo que se utilize um sistema de irrigação por gotejamento, a evaporação da água do solo pode ser elevada em razão da alta frequência de aplicação e da reduzida cobertura do solo pelo dossel das plantas.

Pereira (1997) apresentou valores de Kc, em relação à evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith, variando de 0,50 a 0,85 para variedades rústicas (*Vitis labrusca* L.) e de 0,30 a 0,70 para variedades europeias (*Vitis vinifera* L.). Essa diferença de valores foi atribuída ao sistema de condução, que normalmente é mais exposto nas variedades rústicas.

Araujo et al. (1999) recomendaram para a variedade Alphonse Lavallé, cultivada em condições tropicais na Venezuela, irrigada por gotejamento e conduzida em latada, valores de ETc entre 1,3 mm dia^{-1} e 3,9 mm dia^{-1}. Os autores sugeriram valores do fator de multiplicação pela evaporação do tanque entre 0,20 e 0,60, com um valor médio igual a 0,42. Assumindo-se um coeficiente do tanque Classe A (Kp) igual a 0,7, esses valores apresentados corresponderiam a valores de Kc entre 0,29 e 0,86, com valor médio igual a 0,60, respectivamente.

Teixeira et al. (1999) determinaram o consumo hídrico da variedade Itália para as condições de Petrolina, PE. A cultura foi conduzida em um sistema de latada e irrigada por microaspersão. Durante o ciclo da cultura, a ETc variou de 2,8 mm dia^{-1} até 7,0 mm dia^{-1}. Os valores de Kc variaram entre 0,56 e 1,15, quando se estimou a ETo por Penman-Monteith, e entre 0,52 e 1,24 quando a ETo foi estimada pelo tanque Classe A.

Ávila Netto et al. (2000) registraram para a variedade Itália cultivada no Submédio São Francisco, conduzida em latada e irrigada por gotejamento, valores de ETc variando de 2,7 mm dia^{-1} a 4,3 mm dia^{-1} e valores de Kc entre 0,50 e 0,74, com um valor médio igual a 0,65.

Conceição e Maia (2001) estimaram a ETc da variedade Niágara Rosada (*Vitis labrusca* L.) na região noroeste do Estado de São Paulo, conduzida em latada e irrigada por microaspersão. Os valores médios de ETc variaram de 0,7 mm dia^{-1} a 4,5 mm dia^{-1}, com uma média igual a 3,1 mm dia^{-1}. Os valores de Kc variaram de 0,18 a 1,08 (Figura 5), com um valor médio igual a 0,78. Verifica-se que, praticamente a partir da segunda semana após a poda, os valores de Kc são superiores a 0,6.

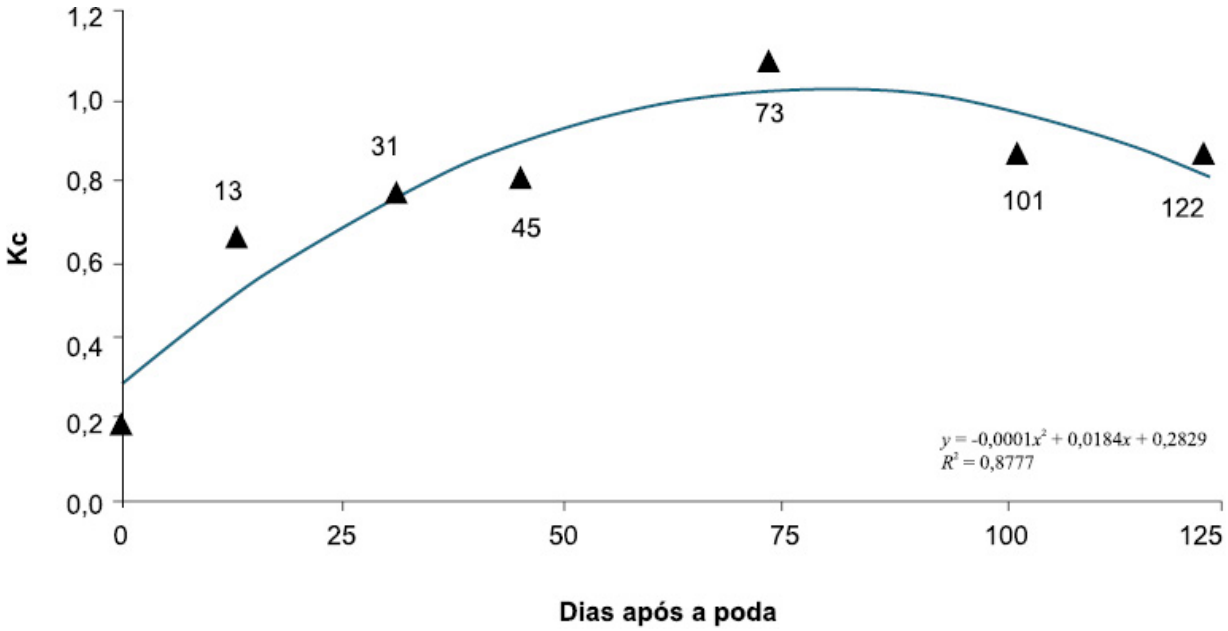


Figura 5. Variação do coeficiente da cultura (*Kc*) para a videira 'Niágara Rosada' cultivada em Jales, SP.

Fonte: Conceição e Maia (2001).

Teixeira et al. (2003a) avaliaram em Petrolina, PE, o consumo hídrico da variedade de mesa Superior, conduzida em latada e irrigada por microaspersão. Os valores de *ETc* variaram de 1,9 mm dia^{-1} a 5,8 mm dia^{-1} e de 2,3 mm dia^{-1} a 5,5 mm dia^{-1}, conforme o método de estimativa empregado. Os valores de *Kc* obtidos foram de 0,55 a 1,00 e de 0,52 a 0,86, com respectivas médias de 0,86 e 0,81, de acordo com os métodos utilizados. Os mesmos autores (TEIXEIRA et al., 2003b) determinaram o consumo hídrico da variedade de vinho Petit Shirah, conduzida em espaldeira e irrigada por gotejamento. A *ETc* variou de 2,0 mm dia^{-1} a 6,3 mm dia^{-1} e entre 2,3 mm dia^{-1} e 6,1 mm dia^{-1}, conforme a metodologia empregada. Os valores de *Kc* encontrados, segundo o método de estimativa da *ETc*, foram de 0,70 a 0,97, com média de 0,89, e de 0,51 a 0,86, com média de 0,80. Constata-se que esses valores de *Kc* encontrados por Teixeira et al. (2003a, 2003b) não diferem muito

dos recomendados por Doorenbos e Kassam (1979) para condições de baixa umidade relativa do ar e alta velocidade do vento.

Williams et al. (2003) registraram na Califórnia, EUA, valores máximos do consumo hídrico da variedade de mesa Thompson Seedless, irrigada por gotejamento e conduzida em espaldeira, que variaram de 6,0 mm dia^{-1} a 6,7 mm dia^{-1} conforme o ano de produção. Os valores máximos de Kc ficaram entre 0,98 e 1,08 de acordo com o ano. Esses valores máximos ficaram próximos aos obtidos por Conceição e Maia (2001) e Teixeira et al. (1999, 2003a, 2003b) para as condições brasileiras.

Na Tabela 1, apresenta-se um resumo dos valores da ETc bem como de seu coeficiente (Kc), obtidos por diferentes autores. Os diferentes valores de ETc e Kc decorrem das diferentes condições em que foram determinados, incluindo variedade, clima, solo, sistemas de condução e irrigação, frequência de aplicação de água e método de estimativa de ETo e ETc. O valor médio de Kc resultante dos diferentes trabalhos é de 0,72. Quando são considerados apenas os trabalhos desenvolvidos no Brasil, o valor médio de Kc fica aproximadamente 0,80. Em regiões tropicais, a videira apresenta um rápido desenvolvimento foliar, o que restringe os valores mais baixos de Kc a um curto período de tempo (Figura 5). Pode-se, dessa maneira, empregar um valor médio de Kc igual a 0,80 como base para o manejo da irrigação da videira.

Tabela 1. Resumo da evapotranspiração da cultura (ETc) e do coeficiente da cultura (Kc) em relação à evapotranspiração de referência (ETo) ou à evaporação do tanque Classe A (ECA) em diferentes regiões.

Local	ETc (mm dia^{-1})	Kc	Kcmed	Fonte
Geral		0,55 a 0,90	0,75	Doorenbos e Kassam (1979)

Califórnia	0,2 a 3,6	0,04 a 0,41	0,36	Peacock et al. (1987)
África do Sul		0,29 a 0,86		Saayman e Lambrechts (1995)
Chile		0,10 a 0,90		
Geral		0,50 a 0,85 0,30 a 0,70		Pereira (1997)
Venezuela	1,3 a 3,9	0,29 a 0,86	0,60	Araujo et al. (1999)
Petrolina, PE	2,8 a 7,0	0,56 a 1,15 0,52 a 1,24	0,82 0,87	Teixeira et al. (1999)
Petrolina, PE	2,7 a 4,3	0,50 a 0,74	0,65	Ávila Netto et al. (2000)
Jales, SP	0,7 a 4,5	0,18 a 1,05	0,78	Conceição e Maia (2001)
Petrolina, PE	1,9 a 5,8 2,3 a 5,5	0,55 a 1,00 0,52 a 0,86	0,86 0,81	Teixeira et al. (2003a)
Petrolina, PE	2,0 a 6,3 2,3 a 6,1	0,70 a 0,97 0,51 a 0,86	0,89 0,80	Teixeira et al. (2003b)
Califórnia	6,0 a 6,7[(1)]	0,98 a 1,08[(1)]		Williams et al. (2003)

[(1)] Valores máximos observados.

Tensão da água no solo para a videira

Para monitorar a água no solo, podem-se empregar diferentes métodos, entre os quais o mais utilizado é o controle da tensão da água no solo (potencial matricial) com o uso de tensiômetros. Esse método emprega conceitos termodinâmicos, o que permite que suas informações sejam, muitas vezes, extrapoladas para diferentes condições edafoclimáticas.

Rosazza (1972 citado por CALIANDRO et al., 1988), ao estudar o manejo da irrigação em diversas variedades de uvas de mesa e de vinho na Itália, concluiu que a água deve ser aplicada sempre que a tensão da água no solo alcançar 30 kPa.

Christensen (1975), em um estudo de época de suspensão da irrigação com a variedade Thompson Seedless na Califórnia, EUA, manteve a tensão da água no solo a 0,60 m de profundidade entre 20 kPa e 40 kPa durante o período anterior à suspensão.

No trabalho desenvolvido por Wildman et al. (1976) com plantas da variedade vinícola Chardonnay, a tensão da água no solo foi mantida em aproximadamente 20 kPa, a 0,45 m de profundidade.

Neja et al. (1977), em um experimento realizado na Califórnia, EUA, adotaram um manejo em que a tensão da água no solo até 0,40 m de profundidade foi mantida entre 10 kPa e 30 kPa. Durante o período de maturação, ela foi mantida entre 10 kPa e 50 kPa.

Rooyen et al. (1980 citados por SAAYMAN; LAMBRECHTS, 1995) propuseram que, em videiras da variedade Waltham Cross cultivadas em solos arenosos (98% de areia) na África do Sul, a tensão da água no solo variasse entre 5 kPa e 15 kPa, dependendo do período fenológico.

Terblanche (1981 citado por SAAYMAN; LAMBRECHTS, 1995) recomendou tensões máximas entre 15 kPa e 20 kPa para solos de textura leve; entre 20 kPa e 30 kPa para solos de textura média; e entre 30 kPa e 40 kPa para solos de textura pesada.

Peacock et al. (1987) observaram para a variedade de mesa Thompson Seedless que, entre os tratamentos da irrigação por gotejamento testados pelos autores, o melhor foi aquele que permitiu que a tensão da água ficasse em -10 kPa a 0,60 m de profundidade, e entre 20 kPa e 30 kPa a 1,20 m.

Gurovich (1996) estabeleceu como prática de manejo para uvas de mesa no Chile a aplicação de água de tal forma que a tensão da água no solo a 0,30 m de profundidade fique entre 15 kPa e 25 kPa.

Conceição et al. (1998) empregaram um manejo para a variedade Itália em Jales, SP, conduzida em latada e irrigada por microaspersão, sobre um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, com 660 g kg^{-1} de areia, 100 g kg^{-1} de silte e 240 g kg^{-1} de argila. A aplicação de água foi realizada quando a tensão atingiu aproximadamente 10 kPa (Figura 6). Os períodos em que a tensão não chegou a atingir 10 kPa corresponderam, normalmente, à ocorrência de chuvas. Com esse manejo, o consumo hídrico médio estimado correspondeu a 31% da evaporação do tanque Classe A, o que equivale a um Kc médio de 0,44. O turno de rega médio foi igual a 8 dias. O valor de Kc foi inferior aos obtidos, geralmente, para as condições brasileiras em outros trabalhos (Tabela 1). Esse menor consumo deve-se, provavelmente, à menor frequência de irrigação, uma vez que a evaporação da água do solo está associada à frequência de seu umedecimento (ALLEN et al., 1998).

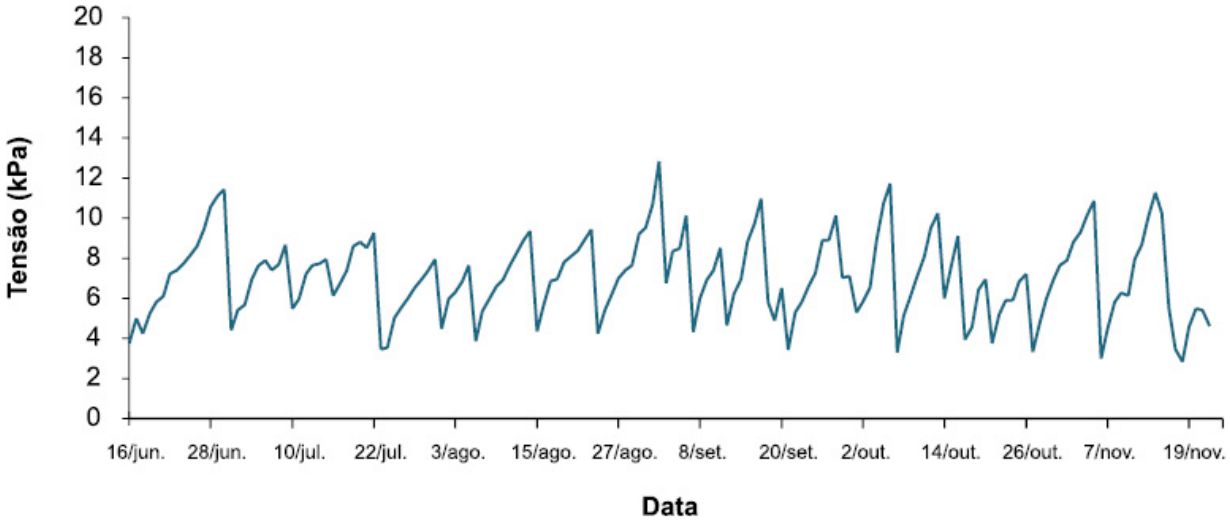


Figura 6. Variação da tensão da água no solo, considerando 10 KPa como limite para se irrigar, em videira da variedade Itália irrigada por microaspersão em Jales, SP.

Fonte: Conceição et al. (1998).

Conradie e Myburgh (2000), em um trabalho realizado na Austrália com uma variedade para vinho irrigada duas vezes por semana por microaspersão e cultivada em solo arenoso (> 97% de areia), estabeleceram como tensão máxima da água no solo um valor igual a 6,5 kPa. Nesse solo, a tensão correspondente à capacidade de campo foi de 3,5 kPa.

Os trabalhos mencionados indicam que a tensão máxima da água no solo para a irrigação da videira depende do tipo de solo e de sua capacidade de armazenamento de água. Nos diferentes trabalhos, todavia, esse valor não foi inferior, de uma forma geral, a 40 kPa. A videira no Brasil é cultivada principalmente em solos de textura arenosa ou média, pois os solos de textura argilosa apresentam, muitas vezes, problemas de drenagem que podem prejudicar o desempenho da cultura.

Deve-se considerar também que, para níveis de tensão da água no solo mais baixos (mais negativos), a variabilidade espacial das medidas aumenta, o que dificulta a representatividade dos registros dos tensiômetros e, consequentemente, o manejo da água. Por essa razão, recomenda-se que a tensão da água na região radicular da videira (de 0,40 m a 0,60 m de profundidade) seja mantida em valores superiores a 20 kPa. Tensiômetros devem também ser instalados a profundidades maiores para que se monitorem possíveis perdas por percolação.

Para se obter a lâmina a ser aplicada quando a tensão da água no solo atingir determinado valor, deve-se conhecer a curva de retenção da água desse solo. A sua determinação é feita em laboratório especializado, a partir de amostras de solo não deformadas.

A grande vantagem do manejo baseado na tensão da água no solo é que se pode reduzir o número de irrigações. No trabalho apresentado por Conceição et al. (1998) durante o ciclo da cultura, que foi de aproximadamente 5 meses, foram realizadas 17 irrigações. O restante da demanda hídrica foi fornecido pela precipitação pluvial. Se fosse estabelecido um turno de rega fixo de, por exemplo, duas vezes por semana, o número seria de aproximadamente 40 irrigações durante o ciclo da cultura.

Relações hídricas nas plantas

Outra forma de se estabelecer um critério para determinar o momento ideal de aplicação de água é por meio da determinação das condições hídricas das plantas.

Grimes e Williams (1990), trabalhando com a cultivar Thompson Seedless na Califórnia, concluíram que o rendimento da cultura será alto se a irrigação mantiver o potencial hídrico das folhas ao meio-dia acima de -0,9 MPa e a condutância estomática maior que 0,008 m s^{-1}, o que equivale a uma resistência estomática inferior a 125 s m^{-1}.

Novello e Palma (1997) testaram, na Itália, o efeito da irrigação sobre duas variedades de videira e três porta-enxertos. Os autores observaram que os potenciais hídricos médios nas folhas foram de -0,95 MPa com irrigação, e de -1,45 MPa sem irrigação. O valor com irrigação ficou próximo ao indicado por Grimes e Williams (1990).

Yunusa et al. (1997b), ao estudarem a evapotranspiração em um parreiral na Austrália irrigado por sulcos, observaram que a resistência estomática média em 2 anos consecutivos foi de 159 ± 20 s m^{-1} no primeiro ano, e de 119 ± 23 s m^{-1} no segundo. Esses valores, principalmente no segundo ano, aproximaram-se do valor da resistência estomática apresentado por Grimes e Williams (1990).

Pire e Ojeda (1999) pesquisaram, em uma região semiárida da Venezuela, o efeito de diferentes regimes de irrigação sobre a variedade Itália. As plantas mantidas em condições ótimas de irrigação apresentaram um consumo hídrico de 10% a 20% da capacidade de água disponível do solo. A resistência estomática às 14h variou entre 100 s m^{-1} e 150 s m^{-1} para as condições irrigadas, e 500 s m^{-1} para as plantas em estresse. Os valores da resistência estomática encontrados também ficaram próximos ao limite indicado por Grimes e Williams (1990).

Dessa maneira, na falta de informações de pesquisas, podem-se adotar, a princípio, valores máximos da resistência estomática e do potencial hídrico na folha, ao meio-dia, iguais a aproximadamente 125 s m^{-1} e -0,9 MPa, respectivamente.

Manejo da irrigação

O manejo da irrigação visa aplicar água à cultura na medida certa, no momento adequado. Para se determinar a quantidade de água a ser aplicada, deve-se conhecer a ETc, que engloba a evaporação da

água do solo e a transpiração das plantas. A ETc dependerá da variedade, do tipo de solo, das condições meteorológicas e dos sistemas de condução da planta e de irrigação, entre outros. Durante os estádios iniciais de desenvolvimento, há um predomínio da evaporação da água do solo sobre a transpiração das plantas. Posteriormente, com o desenvolvimento da cultura, a transpiração passa a exercer o papel predominante no processo.

Para determinar a ETc, é comum determinar primeiramente a ETo da região, multiplicando-a posteriormente por um valor de Kc (ETc = ETo x Kc). Para obter a ETo, utilizam-se normalmente estimativas meteorológicas. Quanto maiores forem a radiação solar e a velocidade do vento, e quanto menor for a umidade relativa do ar, maior será a ETo. O método padrão atual para a estimativa da ETo é o de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998). Esse método é normalmente utilizado quando se dispõe de estações meteorológicas automáticas, com sensores de radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar.

Outro método bastante adotado em áreas irrigadas para a estimativa da ETo é o do tanque Classe A, que consiste em medir diariamente a evaporação do tanque (ECA) e, a partir desse valor, multiplicá-la por um coeficiente (Kp), obtendo-se a ETo (ETo = Kp x ECA). O valor de Kp depende da bordadura ao redor do tanque (F), da velocidade do vento (Vv) e da umidade relativa do ar (UR). Para a determinação de Kp, podem-se empregar tabelas ou equações em que Kp é função de F, Vv e UR. Nem todo local, contudo, onde está instalado um tanque Classe A, possui registros de UR ou de Vv, o que dificulta a determinação de Kp pelas tabelas ou equações. Nesses casos, podem-se empregar valores fixos de Kp para os diversos meses do ano, conforme as condições

climáticas locais. Na região noroeste do Estado de São Paulo, podem-se adotar os seguintes valores de Kp: 0,8 para o período de dezembro a março e 0,7 para o período de abril a novembro (CONCEIÇÃO, 2002).

No caso de não se dispor de estimativas diárias, podem-se empregar valores médios históricos de ETo como base para o manejo da água (CONCEIÇÃO, 2003b; HANSON, 1996; PEACOCK et al., 1987). A Tabela 2 contém valores médios decendiais de ETo para a região vitícola de Jales, SP.

Tabela 2. Valores médios decendiais (mm dia^{-1}) da evapotranspiração de referência (ETo) na região de Jales, SP.

Decêndio	Média	Decêndio	Média	Decêndio	Média	Decêndio	Média
Jan. (01–10)	4,4	Abr. (01–10)	3,7	Jul. (01–10)	3,2	Out. (01–10)	4,6
Jan. (11–20)	4,5	Abr. (11–20)	3,5	Jul. (11–20)	3,2	Out. (11–20)	4,8
Jan. (21–31)	4,9	Abr. (21–30)	3,3	Jul. (21–31)	3,5	Out. (21–31)	4,6
Fev. (1–10)	4,3	Maio (1–10)	3,2	Ago. (1–10)	3,9	Nov. (1–10)	4,4
Fev. (11–20)	4,4	Maio (11–20)	2,7	Ago. (11–20)	4,4	Nov. (11–20)	4,0
Fev. (21–28)	4,4	Maio (21–31)	2,8	Ago. (21–31)	4,6	Nov. (21–30)	4,3
Mar. (1–10)	4,4	Jun. (1–10)	2,9	Set. (1–10)	4,5	Dez. (1–10)	5,0
Mar. (11–20)	4,1	Jun. (11–20)	2,9	Set. (11–20)	4,3	Dez. (11–20)	4,2
Mar. (21–31)	4,2	Jun. (21–30)	2,9	Set. (21–30)	4,2	Dez (21–31)	4,8

Fonte: Conceição (2003b).

Dividindo-se a Tabela 2 em dois períodos, verifica-se que:

- De abril a julho, a ETo média é de aproximadamente 3,0 mm dia^{-1}.
- De agosto a março, o valor médio da ETo é de 4,5 mm dia^{-1}.

A região vitícola de Pirapora, MG, também apresenta dois períodos distintos de ETo (MEDEIROS, 2002):

- De abril a julho, a ETo média é de aproximadamente 4,0 mm dia^{-1}.
- De agosto a março, o valor médio aproximado da ETo é de 5,7 mm dia^{-1}.

Na Tabela 3, estão apresentados os valores mensais da ETo determinada pelo método do tanque Classe A para a região semiárida de Petrolina, PE.

Tabela 3. Valores mensais da ETo (mm dia^{-1}) para Petrolina, PE.

Mês	ETo	Mês	ETo
Jan.	5,4	Jul.	4,6
Fev.	5,4	Ago.	5,5
Mar.	5,5	Set.	6,3
Abr.	5,3	Out.	6,7
Maio	4,5	Nov.	6,3
Jun.	4,2	Dez.	5,4

Fonte: Embrapa Semi-Árido (2005).

Verifica-se que nessa região existem três períodos distintos:

- Entre os meses de maio e julho, a ETo média aproximada é de 4,5 mm dia^{-1}.
- De janeiro a abril e nos meses de agosto e dezembro, a ETo média é de aproximadamente 5,5 mm dia^{-1}.
- De setembro a novembro, a ETo média é de 6,5 mm dia^{-1}, sendo esse o período de maior demanda.

Como mencionado anteriormente, a partir do valor estimado da ETo, determina-se a ETc, multiplicando-se a ETo por um valor de Kc. No início do desenvolvimento vegetativo (após a poda), a área foliar é pequena e o valor de Kc será função, principalmente, da evaporação da água do solo, que está relacionada à frequência de irrigação e ETo do local (ALLEN et al., 1998). Por essa razão, devem-se evitar aplicações diárias ou a cada dois dias para sistemas por aspersão e por microaspersão. De uma forma geral, pode-se adotar um Kc no início entre 0,40 e 0,60.

A partir do florescimento até a colheita, pode-se adotar um só valor de Kc para facilitar o manejo da irrigação, já que é comum, dentro de um mesmo parreiral, existirem plantas em diferentes fases de desenvolvimento. Isso ocorre porque a poda é realizada normalmente por fileiras, havendo variações de períodos fenológicos entre elas. Nessa fase, de uma forma geral, pode-se considerar um Kc médio para a videira de aproximadamente 0,80, conforme já mencionado .

Considerando-se, por exemplo, um Kc médio igual a 0,80 e uma ETo igual a 4,5 mm dia^{-1} (maior valor médio de Jales), tem-se uma ETc média igual a 3,6 mm dia^{-1} (4,5 x 0,8) ou 36.000 L ha^{-1} dia^{-1}; já para uma ETo de 6,5 mm dia^{-1} (maior valor médio de Petrolina), a ETc será de 5,2 mm dia^{-1} (6,5 x 0,8) ou 52.000 L ha^{-1} dia^{-1}.

No período de repouso, que ocorre após a colheita, sugere-se reduzir o fornecimento de água à planta, podendo-se adotar um Kc entre 0,4 e 0,5. A irrigação, contudo, deve ser mantida nesse período. Em áreas onde se emprega a fertirrigação, faz-se também necessária a continuação do fornecimento de nutrientes via água.

Para determinar o tempo de irrigação (TI), basta dividir a ETc pela vazão total aplicada à área. Considerando-se, por exemplo, um espaçamento entre microaspersores de 4,0 m x 5,0 m, têm-se 500 emissores por hectare. Com uma vazão unitária de 70 L h^{-1}, a vazão por hectare será igual a 35.000 L h^{-1} (500 x 70). Uma ETc igual a 52.000 L ha^{-1} dia^{-1} significará um tempo de irrigação de aproximadamente 1,5 h dia^{-1} (52.000/35.000). Se a irrigação for realizada a cada 4 dias, isso representará um TI de 6 horas a cada 4 dias (1,5 x 4). A esse tempo deverá ser acrescentado um porcentual entre 10% e 20% correspondente à eficiência de aplicação do sistema.

Nos sistemas de gotejamento, a frequência de irrigação deve ser normalmente alta em virtude do menor volume de solo molhado, o que representa uma menor reserva hídrica para a cultura. Para os sistemas de aspersão e microaspersão, recomendam-se, contudo, irrigações menos frequentes (de uma a duas vezes por semana nas condições brasileiras), conforme a época do ano, o período de desenvolvimento da cultura e o tipo de solo.

Fertirrigação da videira

Embora seja uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicar os fertilizantes, ressalta-se que a água de irrigação é apenas o veículo para a sua aplicação, devendo-se considerar sempre as exigências nutricionais da cultura. A videira apresenta exigências nutricionais específicas, influenciadas por porta-enxerto, variedade copa, sistema de condução, clima, solo e produtividade.

Todos os fertilizantes necessários ao cultivo da videira podem ser aplicados via água de irrigação. A tomada de decisão sobre a fertirrigação de um nutriente deve levar em conta aspectos técnicos e econômicos. A indústria de fertilizantes evoluiu rapidamente, principalmente em países como Israel, Espanha e Holanda. Com isso, estão disponíveis fertilizantes em forma sólida e líquida, com solubilidade, índice salino e composição que são adequados à utilização em fertirrigação.

O nitrogênio é o nutriente utilizado com maior frequência na fertirrigação. Para a variedade de mesa Niágara Rosada (*Vitis labrusca* L.) cultivada na região de Jales, SP, Melo e Maia (2001) recomendam que todo o nitrogênio seja aplicado até 45 dias após a poda. Na poda de formação, devem ser aplicados 60 kg ha^{-1}, 40 kg ha^{-1} e 30 kg ha^{-1} de N aos 10 dias, 30 dias e 45 dias após a poda, respectivamente, totalizando 130 kg ha^{-1} de N. Durante a época de produção, são necessários 100 kg ha^{-1} de N em três parcelamentos de 60 kg ha^{-1}, 30 kg ha^{-1} e 10 kg ha^{-1}, nos mesmos períodos apresentados na poda de formação, com um total anual igual a 230 kg ha^{-1} de N.

Para a produção de uvas finas de mesa na mesma região, Terra et al. (1998) recomendam teores de N entre 200 kg ha^{-1} e 300 kg ha^{-1}, conforme a meta de produtividade desejada. Segundo os autores, 33% do N deve ser aplicado um mês antes da poda, e o restante deve ser parcelado em três vezes iguais, aos 30 dias após a poda, na fase de chumbinho e na fase de meia baga.

Pereira et al. (2000) recomendam para a região do Submédio São Francisco aplicações de N iguais a 60 g $planta^{-1}$, 70 g $planta^{-1}$, 80 g $planta^{-1}$, 100 g $planta^{-1}$ e 120 g $planta^{-1}$ para o primeiro, segundo,

terceiro, quarto e a partir do quinto ciclo de produção, respectivamente. De acordo com os autores, para o sistema de podas adotado na região, 30% do N deve ser aplicado de 10 a 15 dias antes da poda, durante o período de repouso; 40% entre a poda e a pré-floração, devendo-se evitar a aplicação durante o florescimento; 30% entre a fecundação e o início da maturação.

Existem vários fertilizantes com compostos nitrogenados que podem ser usados na fertirrigação da videira. As formas mais comuns desses compostos são nitratos, amônio, amida e aminoácidos. Todas essas formas são passíveis de sofrer transformações e/ou de ser absorvidas pela videira em maior ou menor proporção. Quanto à preferência da videira pela absorção de nitrato ou amônio, Hajrasuliha et al. (1998) observaram que, na variedade Thompson Seedless, não houve diferenças na absorção de nitrogênio quando este foi aplicado via gotejamento na forma de nitrato de potássio e sulfato de amônio.

Os trabalhos realizados pela Embrapa Semiárido em Petrolina, PE, com as variedades Marroo Seedless, Superior Seedless, Catalunha, Perlette e Thompson Seedless, cultivadas em solo arenoso (84% de areia) e irrigadas por microaspersão, permitiram concluir que o nitrogênio proporciona maior produção e melhor qualidade de frutos quando a dose aplicada, via fertirrigação, varia de 75 kg ha^{-1} a 150 kg ha^{-1}, sem o uso de matéria orgânica no solo (SILVA et al., 2003).

A resposta da videira ao nitrogênio aplicado via fertirrigação está relacionada às exigências da cultura numa determinada fase de desenvolvimento, à textura do solo, ao teor e à qualidade da matéria orgânica do solo, ao teor de nitrogênio mineral (nitrato e amônio) no

solo, ao pH do solo e às características do fertilizante utilizado. Em solos de textura arenosa, com alta possibilidade de lixiviação do nitrogênio, a aplicação de pequenas doses e com maior frequência aumenta a sua disponibilidade no solo.

Trabalhando com colunas de solo, Coelho et al. (2000) observaram que o transporte de NH_4^+ aplicado nas formas de sulfato de amônio, nitrato de amônio e cloreto de amônio sofreu um retardamento entre 2,4 e 3,4 vezes o volume de poros de um Latossolo Vermelho Distrófico. Isso significa que, na fertirrigação, após a aplicação do NH_4^+, a irrigação deveria continuar, com o objetivo de transportar o nutriente até a profundidade onde se encontra o maior volume de raízes ativas.

Por sua vez, a aplicação de ureia mais nitrato de cálcio promoveu acúmulo de nitrato em um solo arenoso (85% de areia) cultivado com videira, após três ciclos de produção (Tabela 4). O sistema de irrigação por microaspersão foi utilizado na área, e a fertirrigação foi realizada três vezes por semana.

Tabela 4. Concentração de NH_4^+ e NO_3^- em amostras de solo coletadas após o terceiro ciclo de produção em duas variedades de uva sem sementes, cultivadas em solo arenoso.

Profundidade (m)	NH_4^+	NO_3^- ($\mu g\ g^{-1}$ de solo)
		Superior Seedless
0,00–0,20	2,45	16,25
0,20–0,40	1,84	14,72
		Catalunha
0,00–0,20	3,37	8,59
0,20–0,40	3,37	6,44

Fonte: Silva et al. (2003).

Com base nesses resultados, pode-se afirmar que, para uma recomendação adequada de nitrogênio via fertirrigação para a videira, devem-se considerar, além dos teores de N nas folhas, da produtividade desejada ou da quantidade de N extraída, outros aspectos como manejo da fertirrigação, teor de matéria orgânica e formas e concentração de N no solo. As épocas de aplicação dos fertilizantes nitrogenados devem obedecer à fenologia da videira, cuja máxima absorção ocorre durante as fases de brotação e de crescimento da baga. Dessa forma, a fertirrigação com nitrogênio deve ser realizada da poda ao pré-florescimento e do pós-florescimento ao início da maturação.

A aplicação de potássio via água de irrigação também é bastante difundida. O potássio é absorvido pela videira na forma de K^+, e a sua necessidade mais intensa ocorre durante os estádios de lignificação dos ramos e maturação dos frutos (TERRA, 2001). Melo e Maia (2001) recomendam para a variedade Niágara Rosada 60 kg ha^{-1} de K_2O aos 45 dias após a poda de formação, e ainda a aplicação de 40 kg ha^{-1}, 40 kg ha^{-1} e 50 kg ha^{-1} de K_2O aos 45 dias, 60 dias e 80 dias após a poda de produção, respectivamente, totalizando 190 kg ha^{-1} de K_2O anualmente.

Para a produção de uvas finas de mesa no noroeste paulista, Terra et al. (1998) recomendam entre 120 kg ha^{-1} e 480 kg ha^{-1} de K_2O por ano conforme a análise do solo e a meta de produtividade da cultura. O parcelamento recomendado pelos autores é semelhante ao indicado por eles para a adubação nitrogenada na região.

Pereira et al. (2000) recomendam de 30 g $planta^{-1}$ a 160 g $planta^{-1}$ de K_2O na fase de produção da videira conforme a análise de solo e o ciclo de produção da cultura. Segundo os autores, 20% do

potássio deve ser aplicado de 10 a 15 dias antes da poda (período de repouso); 20%, da floração até o crescimento da baga (tamanho azeitona); 60%, do crescimento da baga até a maturação.

O cloreto de potássio, fertilizante amplamente utilizado em outras espécies vegetais, é utilizado com restrições na videira em razão de observações práticas de que o cloro em excesso causa injúrias à planta e/ou compromete a produção e a qualidade dos frutos. Embora esses efeitos sejam comprovadamente causados pelo excesso de cloro na água (AYRES; WESCOT, 1991), as fontes de potássio mais usadas na região do Submédio São Francisco são o sulfato de potássio, que é também fonte de enxofre, e, com menor frequência, o nitrato de potássio, que também é fonte de nitrogênio. Tanto o sulfato quanto o nitrato de potássio têm baixa solubilidade e alto custo por unidade de potássio em relação ao cloreto.

O fósforo, que é absorvido na forma de $H_2PO^-_4$, apresenta baixa mobilidade no solo e é normalmente aplicado no início do ciclo da cultura. Melo e Maia (2001) sugerem para a variedade Niágara Rosada que seja realizada a aplicação de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 10 dias antes da poda de formação e 60 kg ha^{-1} 30 dias após essa poda. Para a poda de produção, os autores recomendam o mesmo parcelamento, mas usando-se 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 em vez de 60 kg ha^{-1}. Isso corresponde a um total de 280 kg ha^{-1} de P_2O_5 por ano. Terra et al. (1998) recomendam para uvas finas de mesa um total anual entre 120 kg ha^{-1} e 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 conforme a análise de solo e a produtividade desejada. A metade do P deve ser aplicada um mês antes da poda e o restante, um mês depois.

Pereira et al. (2000) recomendam para o Submédio São Francisco valores entre 50 g $planta^{-1}$ e 100 g $planta^{-1}$ de P_2O_5 de acordo com

o ciclo de produção e a análise de solo. Considerando-se o solo corrigido, os autores recomendam a partir do quinto ciclo produtivo uma única aplicação de 100 g planta^{-1} por ciclo, independentemente da análise de solo.

O principal fertilizante com fósforo utilizado na fertirrigação da videira é o ácido fosfórico, que pode ser aplicado também para efetuar a limpeza do sistema de irrigação. Com a utilização do ácido fosfórico, a fertirrigação da videira com fertilizantes que contenham fósforo sofreu um incremento considerável. O fósforo caracteriza-se por apresentar baixa mobilidade no solo em virtude da alta capacidade de adsorção pelos coloides minerais. Assim, com o crescimento da utilização dos métodos de irrigação localizada, a aplicação de fósforo ao solo passou a ser realizada via fertirrigação, na forma de ácido fosfórico, MAP e DAP, e mais recentemente de MKP (PeaK) e fosfato de ureia. Esses fertilizantes apresentam como características comuns a alta solubilidade e a elevada acidez, principalmente o ácido fosfórico e o fosfato de ureia. No entanto, alguns apresentam custo muito elevado.

Os fertilizantes que contêm fósforo podem provocar entupimentos em sistemas de irrigação localizada em decorrência da incompatibilidade do fósforo com sais de cálcio e magnésio. Assim, deve-se atentar para a composição das misturas de fertilizantes e também para a qualidade da água de irrigação.

A mobilidade do fósforo no solo está relacionada a sua textura. Solos argilosos possuem maior capacidade de adsorção de fósforo. Tanto a quantidade quanto o tipo de mineral de argila interferem nesse fenômeno. Além da textura, a frequência de aplicação e a quantidade de água aplicada são variáveis que também afetam o

transporte de fósforo no solo. Assim, em solos arenosos irrigados por microaspersão, e principalmente por gotejamento, pode ocorrer uma movimentação considerável do fósforo, colocando-o, até mesmo, fora da zona de maior concentração de raízes.

Esse fato ocorreu em um estudo realizado por Soares et al. (1997) em um Neossolo Quartzarênico (94% de areia). O fósforo movimentou-se para regiões profundas, abaixo da zona de maior concentração de raízes da videira da variedade Itália, irrigada por gotejamento, por causa da sua aplicação na forma de ácido fosfórico, na frequência de duas vezes ao dia (Figura 7). O aumento da mobilidade deve-se a uma maior concentração aplicada em uma pequena área, o que satura os sítios de adsorção próximos ao ponto de aplicação.

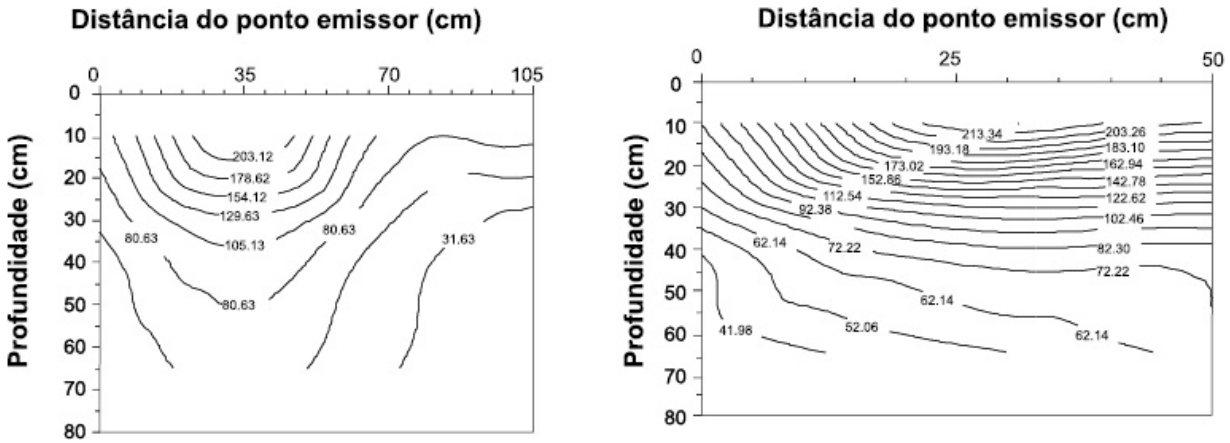


Figura 7. Concentração de fósforo, em mg dm^{-3}, em amostras de solo coletadas sob o emissor, no sentido transversal à linha de gotejadores (à esquerda), e na metade do espaçamento entre emissores, no sentido longitudinal à linha de gotejadores (à direita).

Fonte: Soares et al. (1997).

A aplicação de cálcio via água de irrigação mostra-se extremamente vantajosa para culturas que apresentam demanda elevada por esse nutriente, como a videira. A calagem, que é normalmente realizada

nos solos cultivados com videiras no Brasil, é uma das principais fontes de cálcio para a cultura. A aplicação de cálcio via fertirrigação é mais complexa, pois pode favorecer a formação de precipitados no interior das tubulações e dos emissores de água. A fonte mais usada de cálcio na fertirrigação é o nitrato de cálcio, que é bastante solúvel. Deve-se precaver, entretanto, quanto à sua incompatibilidade com outros fertilizantes usados na fertirrigação. Em solos arenosos, com baixa capacidade de troca catiônica, e com pH acima de 6,0, a utilização de nitrato de cálcio como fonte de nitrogênio tem-se mostrado muito adequada, pois permite elevar os teores de cálcio no solo. Entretanto, deve-se atentar para a alternância de fontes de nitrogênio, com o objetivo de manter o equilíbrio entre os cátions Ca, Mg e K no solo.

O magnésio (Mg^{2+}) e o enxofre (SO_4^{2-}) são dois elementos medianamente utilizados pela videira (TERRA, 2001). O calcário dolomítico e alguns fungicidas são, respectivamente, fontes de magnésio e enxofre para as plantas. Em caso de necessidade, o sulfato de magnésio pode ser empregado como fonte de SO_4^{2-} e Mg^{2+} na fertirrigação da videira. Esse fertilizante é bastante solúvel e compatível com a maioria dos outros fertilizantes empregados via água de irrigação. O nitrato de magnésio é também uma alternativa viável para o suprimento de Mg^{2+} via fertirrigação, embora apresente custo elevado.

Entre os micronutrientes demandados pela videira, destacam-se o boro, o manganês e o zinco. O zinco e o manganês são normalmente fornecidos por meio de fungicidas. O boro pode ser aplicado via fertirrigação na forma de ácido bórico, e a dose é estabelecida conforme análise foliar e/ou análise do solo. Melo e

Maia (2001) recomendam a aplicação de 6 kg ha^{-1} de B quando os seus teores no solo estiverem abaixo de 1,0 mg kg^{-1}.

Ao realizar a fertirrigação, não se devem injetar os fertilizantes no início da aplicação de água; é necessário aguardar para que o sistema entre em equilíbrio hidráulico. Assim, deve-se iniciar a aplicação de adubos quando decorridos 25% do tempo de irrigação (TI) e cessar a injeção quando faltarem cerca de 25% do TI. Esse procedimento visa à limpeza do sistema e também ao deslocamento da solução fertilizante até a profundidade na qual está concentrado o maior volume de raízes ativas. Se o tempo de irrigação for, por exemplo, de 4 horas, deve-se iniciar a injeção de fertilizantes após 1 hora e terminá-la após 2 horas, deixando 1 hora para a limpeza da tubulação.

Esse manejo é realizado independentemente do tipo de solo, do sistema de irrigação e da distribuição do sistema radicular. Na prática, contudo, visto que o solo é um meio reativo, ocorre um retardamento dos solutos em relação à água, por causa da interação dos íons com o solo. Para íons como fósforo e potássio, esse fator de retardamento torna-se particularmente importante em razão da adsorção do primeiro e das reações de troca do segundo na superfície dos coloides do solo.

Isso foi observado em uma área cultivada com uva ‘Superior Seedless’ por Silva et al. (2001), que, utilizando colunas de PVC com amostras de solo indeformadas, em condições não saturadas, determinaram que o fator de retardamento para o potássio é 3,3. A condição insaturada assemelha-se ao que ocorre na fertirrigação por gotejamento, uma vez que a região próxima ao emissor encontra-se praticamente saturada. O fator de retardamento obtido

significa que é necessário aplicar uma quantidade de água equivalente a 3,3 vezes o volume de poros desse solo para deslocar a solução fertilizante em virtude da interação da mesma com os agregados do solo.

A frequência de aplicação dos fertilizantes dependerá da curva de absorção de nutrientes da planta, do tipo de solo, das condições climáticas (especialmente das precipitações), do sistema de irrigação utilizado e do manejo da irrigação. Com a fertirrigação, o parcelamento das doses apresentadas anteriormente (MELO; MAIA, 2001; PEREIRA et al., 2000; TERRA et al., 1998) poderá ser maior, aplicando-se os fertilizantes uma a duas vezes por semana em sistemas de aspersão e microaspersão, ou até mesmo diariamente no caso de sistemas por gotejamento.

Na ocorrência de baixos índices de precipitação pluvial, a frequência de aplicação de fertilizantes estará diretamente relacionada ao manejo adequado da irrigação. Conradie e Myburgh (2000) testaram diferentes frequências de fertirrigação com nitrogênio e potássio para videiras cultivadas em um solo arenoso (> 97% de areia), irrigadas por microaspersão. Apesar do alto teor de areia no solo e de a capacidade de campo corresponder à umidade equivalente à tensão de 3,5 kPa, os autores não observaram diferenças significativas entre a adubação convencional e a fertirrigação, nem entre a fertirrigação a cada três semanas e a fertirrigação realizada duas vezes por semana. A precipitação na região estudada foi inferior a 200 mm ano^{-1}, e a irrigação foi a principal fonte de água para as plantas.

Dessa maneira, verifica-se que, com um manejo adequado da água, as perdas por drenagem podem ser evitadas mesmo em solos

altamente permeáveis, e isso permite um maior intervalo entre as aplicações de fertilizantes.

Referências

ALBUQUERQUE, T. C. S. de. **Uva para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1996. 53 p. (FRUPEX. Publicações Técnicas, 25).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAUJO, F. J.; FARÍA, A.; SANCHEZ, C.; NICKEL, W.; RIVERO, Y.; URDANETA, T. A drip irrigation strategy for maximizing grapevine water use efficiency in tropical vineyards of Venezuela. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 493, p. 117-123, 1999.

ARAUJO, F. J.; WILLIAMS, L. E.; GRIMES, D. W.; MATTHEWS, M. A. A comparative study of young ‘Thompson Seedless’ grapevines under drip and furrow irrigation: I. Root and soil water distributions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, NL, v. 60, n. 3-4, p. 235-249, 1995.

ÁVILA NETTO, J.; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SOARES, J. M.; TEIXEIRA, A. H. de C. Exigências hídricas da videira na região do Submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 8, p. 1559-1566, 2000.

AYRES, R. S.; WESCOT, D. W.**A qualidade da água de irrigação na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (FAO. Estudos. Irrigação e Drenagem, 29).

BASSOI, L. H.; HOPMANS, J. W.; JORGE, L. A. de C.; ALENCAR, C. M. de; SILVA, J. A. M. Grapevine root distribution in drip and microsprinkler irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 377-387, 2003.

BASSOI, L. H.; MIRANDA, A. A. Análise da distribuição radicular de videiras irrigadas em latossolo vermelho-amarelo de Petrolina, PE: I - massa seca de raízes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais**... Campina Grande: SBEA: UFPB, 1997. 1 CD-ROM.

CALIANDRO, A.; CARRIERI, G.; FERRARA, E.; RUBINO, P. Influence of some irrigation variables on drip irrigated table grape, “Italia cv”, in southern Italy. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 228, p. 189-196, 1988.

CHADHA, K. L.; SHIKHAMANY, S. D. **The grape**: improvement, production and post-harvest management. New Delhi, IN: Malhotra, 1999. 579 p.

CHRISTENSEN, P. Response of ‘Thompson Seedless’ grapevines to the timing of preharvest irrigation cut-off. **American Journal of Enology and Viticulture**, Reedley, v. 26, n. 4, p. 188-194, 1975.

COELHO, F. C.; RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; FRANÇA, G. E. de; ARAÚJO, C. A. de S.; DUARTE, M. A. Transporte do amônio em colunas de um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 362-367, 2000.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Reference evapotranspiration based on Class A pan evaporation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Uniformidade de distribuição de água superficial e subsuperficial para microaspersores invertidos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Juazeiro: ABID, 2003a. 1 CD-ROM.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Uso de valores médios de ETo para manejo da irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais**... Santa Maria: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003b. v. 1, p. 249-250.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MAIA, J. D. G. Coeficiente da cultura (Kc) para a videira Niágara Rosada em Jales, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: SBA: Funceme, 2001. v. 2, p. 411-412.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDARINI NETO, J.; MAIA, J. D. G. Manejo da irrigação da videira utilizando-se tensiômetros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 15., 1998, Poços de Caldas. **Resumos**... Lavras:UFLA, 1998. p. 749.

CONRADIE, W. J.; MYBURGH, P. A. Fertigation of *Vitis vinifera* L. cv. Bukettraube/110 Richter on a sandy soil. **South African Journal of Enology and Viticulture**, Stellenbosch, v. 21, n. 1, p. 26-34, 2000.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome, IT: FAO, 1979. 193 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA SEMI-ÁRIDO. **Dados meteorológicos**. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/index.php?op=dadosmet>. Acesso em: 28 fev. 2005.

GRIMES, D. W.; WILLIAMS, L. E. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless Grapevines. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 255-260, 1990.

GUROVICH, L. A. Irrigation scheduling of table grape cultivars in Chile. In: CAMP, C. R.; SADLER, E. J.; YODER, R. E. (Ed.). **Evapotranspiration and irrigation scheduling**. San Antonio: ASAE, 1996. p. 335-340.

HAJRASULIHA, S.; ROLSTON, D. R.; LOUIE, D. T. Fate of ^{15}N fertilizer applied to trickle-irrigated grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, Reedley, v. 49, n. 2, p. 191-198, 1998.

HANSON, B. R. Error in using historical reference crop evapotranspiration for irrigation scheduling. In: CAMP, C. R.; SADLER, E. J.; YODER, R. E. (Ed.). **Evapotranspiration and irrigation scheduling**. San Antonio: ASAE, 1996. p. 220-224.

KUHN, G. B.; LOVATEL, J. L.; PREZOTTO, O. P.; RIVALDO, O. F.; MANDELLI, F.; SÔNEGO, O. R. **O cultivo da videira**: informações básicas. Bento Gonçalves: EMBRAPA-CNPUV, 1996. 60 p. (EMBRAPA-CNPUV. Circular Técnica, 10).

MEDEIROS, S. de S. **Indicadores para gerenciamento do uso da água no perímetro irrigado de Pirapora-MG**. 2002. 109 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MELO, G. W. B. de; MAIA, J. D. G. Manejo das plantas daninhas e adubação. In: MAIA, J. D. G.; KUHN, G. B. (Ed.). **Cultivo da niágara rosada em áreas tropicais do Brasil**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2001. p. 24-27.

MULLINS, M. G.; BOUQUET, A.; WILLIAMS, L. E. **Biology of the grapevine**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 239 p.

NEJA, R. A.; WILDMAN, W. E.; AYERS, R. S.; KASIMATIS, A. N. Grapevine response to irrigation and trellis treatmets in the Salinas Valley. **American Journal of Enology and Viticulture**, Reedley, v. 28, n. 1, p. 16-26, 1977.

NOVELLO, V.; PALMA, L. de. Genotype, rootstock and irrigation influence on water relations, photosynthesis and water use efficiency in grapevine. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 449, n. 2, p. 467-473, 1997.

PEACOCK, W. L.; CHRISTENSEN, L. P.; ANDRIS, H. L. Development of a drip irrigation schedule for average-canopy vineyards in the San Joaquin Valley. **American Journal of Enology and Viticulture**, Reedley, v. 38, n. 2, p. 113-119, 1987.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B. de; SILVA, D. J.; SOARES, J. M. Nutrição e adubação da videira. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J. M. (Ed.). **A viticultura no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. p. 213-257.

PEREIRA, L. S. Novas aproximações aos coeficientes culturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais**... Campina Grande: SBEA: UFPB, 1997. 1 CD-ROM.

PIRE, R.; OJEDA, M. Effects of the irrigation regime on water relations of a table grape cultivars in a semiarid region of Venezuela. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 493, p. 97-102, 1999.

PIRES, R. C. de M.; SAKAI, E.; FOLEGATTI, M. V.; PIMENTEL, M. H. L.; FUJIWARA, M. Distribuição e profundidade do sistema radicular da videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais**... Campina Grande: SBEA: UFPB, 1997. 1 CD-ROM.

SAAYMAN, D.; LAMBRECHTS, J. J. N. The effect of irrigation system and crop load on the vigour of Barlinka table grapes on a sandy soil, Hex River Valley. **South African Journal of Enology and Viticulture**, Stellenbosch, v. 16, n. 2, p. 26-34, 1995.

SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; KONRAD, M.; BRAGA, R. S.; SASSAKI, N. Comportamento do sistema radicular da videira (*Vitis vinifera* L.), variedade Benitaka, frente ao manejo da irrigação por aspersão sob copa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais**... Salvador: SBEA: UFBA: Embrapa, 2002. 1 CD-ROM.

SENTELHAS, P. C. Aspectos climáticos para a viticultura tropical. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 194, p. 9-14, 1998.

SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. de S.; LEÃO, P. C. de S.; PINTO, J. M.; SOARES, J. M. **Interação entre o manejo de água e a aplicação de fósforo e potássio em videiras irrigadas do Submédio São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001. 16 p. Projeto em andamento do Sistema Embrapa de Pesquisa, financiado pelo Banco do Nordeste.

SILVA, D. J.; LEÃO, P. C. de S.; SILVA, E. E. G. Adubação nitrogenada em uva de mesa no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 10.; SEMINÁRIO CYTED: INFLUÊNCIA DE TECNOLOGIA VITÍCOLA E VINÍCOLA NA COR DOS VINHOS, 2003, Bento Gonçalves. **Anais**... Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2003. p. 182. (Embrapa Uva e Vinho.

Documentos, 40).

SMART, R. E. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implication for yield and quality: a review. **American Journal of Enology and Viticulture**, Reedley, v. 36, n. 3, p. 230-239, 1985.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F. da. Irrigação da cultura da videira. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J. M. (Ed.). **A viticultura no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. p. 147-212.

SOARES, J. M.; LIMA, M. I. de; CORDEIRO, G. C.; PEREIRA, J. R.; NASCIMENTO, T.; BARRETO, D. S. B. Monitoramento de manejo de água e nutrientes em videira sob irrigação por gotejamento na Fazenda Boa Esperança. In: SOARES, J. M.; LIMA, M. I. de; CORDEIRO, G. C.; PEREIRA, J. R.; NASCIMENTO, T.; BARRETO, D. S. B. **Rede de cooperação técnica entre a EMBRAPA-CPATSA/Fazenda Boa Esperança**: relatório técnico de atividades de pesquisas desenvolvidas na cultura da videira e da mangueira. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1997. Não paginado.

TEIXEIRA, A. H. de C.; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B.; SOARES, J. M. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 413-416, 1999.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASSOI, L. H.; SILVA, T. G. F. Consumo hídrico em um cultivo orgânico de videira para uva de mesa. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E

DRENAGEM, 13,, 2003, Juazeiro. **Anais**... Juazeiro: ABID, 2003a. 1 CD-ROM.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASSOI, L. H.; SILVA, T. G. F. Estimativa da evapotranspiração da videira

para vinho utilizando o balanço de energia e a metodologia proposta pela FAO. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais**... Juazeiro: ABID, 2003b. 1 CD-ROM.

TERRA, M. M. Nutrição e adubação da videira. In: BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. de S. (Ed.). **Cultura**

de uvas de mesa: do plantio à comercialização. Ilha Solteira: Unesp-Fapesp, 2001. p. 149-176.

TERRA, M. M.; PIRES, E. J. P.; NOGUEIRA, N. A. M. **Tecnologia para produção de uva Itália na região noroeste do Estado de São Paulo**. Campinas: Cati, 1998. 51 p. (Documento Técnico, 97).

WILDMAN, W. E.; NEJA, R. A.; KASIMATIS, A. N. Improving grape yield and quality with depth- controlled irrigation. **American Journal of Enology and Viticulture**, Reedley, v. 27, n. 4, p. 168-175, 1976.

WILLIAMS, L. E.; PHENE, C. J.; GRIMES, D. W.; TROUT, T. J. Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. **Irrigation Science**, New York, v. 22, n. 1, p. 11-18, 2003.

YUNUSA, I. A. M.; WALKER, R. R.; BLACKMORE, D. H. Characterisation of water use by Sultana grapevines (*Vitis vinifera* L.) on their own roots or on Ramsey rootstock drip-irrigated with water of different salinities. **Irrigation Science**, New York, v. 17, n. 2, p. 77-86, 1997a.

YUNUSA, I. A. M.; WALKER, R. R.; GUY, J. R. Partitioning of seasonal evapotranspiration from a commercial furrow-irrigated Sultana vineyard. **Irrigation Science**, New York, v. 18, n. 1, p. 45-54, 1997b.

ZYL, J. L. van; HUYSSTEEN, L. van. Comparative studies on wine grapes on different trellising systems: I. consumptive water use. **South African Journal of Enology and Viticulture**, Stellenbosch, v. 1, n. 1, p. 7-14, 1980.

Capítulo 19

Irrigação e fertirrigação na cultura da batata

Waldir Aparecido Marouelli
Paulo Cezar Rezende Fontes

Introdução

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a hortaliça de maior importância cultivada no Brasil. Embora a área plantada venha sendo reduzida ligeiramente, passando de 176 mil hectares para 145 mil hectares entre 1999 e 2008, a produtividade média aumentou de 16,5 t ha^{-1} para 25,5 t ha^{-1}. Mundialmente, a batata é também a hortaliça mais plantada (19,3 milhões de hectares) e a mais consumida (308 milhões de toneladas colhidas), especialmente nos países de clima temperado.

Os principais estados produtores são Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, contribuindo com 96% da produção nacional (SILVA et al., 2002). Alguns estados das regiões Centro-Oeste e Nordeste produzem batata em áreas com microclimas específicos ou épocas do ano com temperatura amena e com pouca chuva.

Embora tenha aumentado nos últimos anos, a produtividade média nacional ainda é baixa quando comparada a países como Holanda,

Estados Unidos, Alemanha e Japão, com médias superiores a 30 t ha^{-1}. No Brasil, as mais altas produtividades têm sido alcançadas em Minas Gerais, Bahia e São Paulo e deve-se ao bom nível tecnológico, especialmente em relação à qualidade da batata-semente e ao uso da irrigação. Na região do Cerrado mineiro, há produtores obtendo entre 35 t ha^{-1} e 45 t ha^{-1} em sistema de irrigação por pivô central.

A batateira é bastante sensível ao deficit hídrico, de modo que mesmo pequenos períodos de estiagem podem comprometer o sucesso da cultura (WRIGHT; STARK, 1990). Por essa razão, a irrigação tem-se tornado um importante componente na produção comercial de batata, mesmo em regiões úmidas e semiúmidas. No entanto, o rendimento pode ser seriamente afetado pelo excesso de água, que reduz a aeração do solo, favorece a maior lixiviação de nutrientes e aumenta a incidência de doenças (DU PLESSIS et al., 2003; MAROUELLI, 1997).

Com exceção dos estados da região Sul, o cultivo da batata realiza-se predominantemente sob irrigação. Todavia, a área irrigada nesses estados vem aumentando em virtude de a irrigação possibilitar o aumento de produtividade e minimizar o risco de produção (BISOGNIN, 1996). Estudos realizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina (Epagri), tanto no âmbito de produtor quanto experimental, têm evidenciado que a irrigação suplementar, especialmente em plantios realizados na safra das águas, possibilita incrementos de produtividade de até 50% (ALTHOFF; SILVA, 1998; SILVA et al., 2002). Adicionalmente, a qualidade dos tubérculos é superior em tamanho, formato e aspecto visual.

O ciclo curto e a reduzida capacidade de exploração do solo pelas raízes contribuem para a grande necessidade de nutrientes prontamente disponíveis no solo para a cultura da batata. Assim, a adição de nutrientes ou o programa de adubação assumem grande importância, principalmente em razão de os solos brasileiros apresentarem baixa fertilidade natural.

No Brasil, a adubação da batateira é realizada de forma convencional no solo, sendo muito pouco utilizada a prática da fertirrigação. Todavia, a aplicação de fertilizantes em cobertura, principalmente os nitrogenados e os potássicos, via água de irrigação, é uma alternativa para programas de adubação (GUIMARÃES, 2003; HEGNEY; MCPHARLIN, 2000). A técnica, além da maior praticidade, possibilita o fornecimento parcelado dos nutrientes às plantas em doses e momento apropriados para atender às necessidades da cultura ao longo de seu ciclo fenológico.

A batata é uma hortaliça moderadamente sensível ao conteúdo de sais na solução do solo. O máximo rendimento de tubérculos é obtido para uma condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEe) de até 1,7 dS m^{-1}. A partir desse valor limite, a produtividade é reduzida em 12% para cada incremento de 1,0 dS m^{-1} na CEe (ALLEN et al., 1998). A redução ocorre por causa do decréscimo na absorção de água e nutrientes pelas raízes, dos danos pela absorção elevada de cloretos e, no caso da irrigação por aspersão, da queima das folhas.

Em termos gerais, irrigar com água com teor de sais entre 1,5 g L^{-1} e 2,5 g L^{-1} pode causar redução considerável da colheita para a maioria das cultivares. Em solos arenosos com boa drenagem, água

com concentração de cloreto inferior a 2,0 meq L^{-1} e irrigações realizadas em regime de alta frequência, aplicando-se periodicamente água em excesso para lixiviar os sais, a produção de batata pode-se manter elevada mesmo que a água de irrigação apresente concentração entre 3,0 g L^{-1} e 3,5 g L^{-1} (ZAAG, 1982).

Sistemas de irrigação

A sensibilidade da cultura da batata ao deficit hídrico, associada ao sistema radicular superficial, faz que sistemas de irrigação capazes de aplicar água de modo uniforme, frequente e em pequenas quantidades, como gotejamento, aspersão convencional fixo e pivô central, sejam, em termos gerais, mais recomendados. Todavia, vários outros fatores devem ser considerados na escolha, principalmente o econômico.

Mundialmente, os sistemas por aspersão e por sulco são, nessa ordem, os mais utilizados na cultura da batata. Outros sistemas como a irrigação subsuperficial, por meio do manejo do lençol freático, e o gotejamento também têm sido utilizados, porém, em escala reduzida. A irrigação por inundação, mesmo que intermitente, deve ser evitada, pois a saturação do solo por mais de 8 a 12 horas causa sérios danos às raízes em virtude da falta de oxigênio para a respiração. No Brasil, a irrigação da batateira é realizada quase totalmente por meio de sistemas por aspersão.

O efeito do sistema de irrigação na evapotranspiração da cultura (ETc) está, primariamente, relacionado à duração do umedecimento

da superfície do solo e à fração da superfície molhada, especialmente antes do máximo sombreamento do solo pelas plantas. Todavia, a principal diferença na lâmina total de água aplicada entre os diferentes sistemas de irrigação não é tanto em razão da ETc, mas das diferenças na uniformidade de irrigação, na eficiência de aplicação de água e na drenagem abaixo da zona radicular. Assim, uma vez que o dossel da cultura tenha-se desenvolvido por completo, a ETc, e principalmente a transpiração, é relativamente pouco afetada pelo sistema de irrigação (WRIGHT; STARK, 1990).

Irrigação por aspersão

A cultura da batata tem sido irrigada pelos diferentes sistemas de irrigação por aspersão. Os sistemas convencionais são mais utilizados no Estado de São Paulo e nos estados da região Sul, enquanto o pivô central é o principal sistema empregado em grandes áreas na região do Cerrado. O sistema tipo autopropelido tem sido muito utilizado por produtores de batata do Paraná (MATOUELLI e GUIMARÃES, 2006).

Quando a cultura é irrigada por sistemas convencionais, os aspersores de tamanho médio, operando a pressões de serviço entre 2,0 kgf cm^{-2} e 4,0 kgf cm^{-2}, são os que têm apresentado melhores resultados; nos espaçamentos de 12 m x 18 m, 18 m x 18 m ou 18 m x 24 m, geram uma precipitação bruta de 10 mm h^{-1} a 20 mm h^{-1}. Também podem ser utilizados aspersores de grande porte (tipo canhão). Muito embora a planta de batata seja moderadamente tolerante ao impacto das gotas e a emergência seja pouco afetada pela formação de crostas na superfície do solo, o

emprego desses aspersores pode causar danos às plantas, principalmente no início do desenvolvimento vegetativo. Isso pode ser minimizado elevando-se a pressão de serviço de forma a possibilitar maior pulverização do jato de água. Em sistema de pivô central, aspersores de baixa pressão (1,0 kgf cm^{-2} a 2,0 kgf cm^{-2}) têm sido largamente utilizados na cultura da batata (MAROUELLI; CARRIJO, 1987).

Um dos principais problemas associados à irrigação por aspersão é a interferência no controle fitossanitário. Além de promover a lavagem dos produtos aplicados, a aspersão proporciona condições de alta umidade no dossel vegetal, favorecendo maior incidência de doenças da parte aérea, principalmente quando realizada em regime de alta frequência (MAROUELLI, 1997). Para minimizar tais problemas, recomenda-se que as irrigações sejam realizadas pela manhã, evitando que a folhagem permaneça úmida durante a noite (SILVA et al., 2002).

A planta de batata é sensível à ocorrência de geadas, fenômeno comum principalmente na região Sul do Brasil. Embora pouco utilizado para tal finalidade, o sistema por aspersão pode ser empregado como meio efetivo para o combate a geadas (MAROUELLI; CARRIJO, 1987). Segundo Bisognin (1996), o sistema deve ser ligado durante o período mais frio da noite, quando a temperatura (medida a céu aberto, na altura das plantas e na parte mais fria da lavoura) atingir 2 °C, funcionando até o início da manhã seguinte, quando não houver mais gelo sobre as plantas.

Irrigação por sulco

O sistema por sulco adapta-se à maioria das culturas plantadas em fileiras, principalmente aquelas cultivadas em camalhão, como a batata.

O espaçamento entre sulcos é, geralmente, estabelecido pela distância entre as linhas de plantio, a qual varia entre 80 cm e 90 cm para produção de batata para consumo e de 70 cm a 75 cm para batata-semente. Em solos de textura fina, com grande movimento lateral da água, a irrigação pode ser realizada utilizando-se um sulco para cada duas fileiras ou em sulcos alternados, ou seja, o sulco que receber água numa irrigação não receberá na outra (MAROUELLI; CARRIJO, 1987).

A definição da declividade, do comprimento e da vazão a ser aplicada por sulco deve ser realizada similarmente ao procedimento recomendado para as demais culturas, sendo de fundamental importância, para que as irrigações possam ser realizadas de forma eficiente.

A saturação do solo ao redor dos tubérculos é altamente prejudicial à cultura da batata por reduzir o oxigênio. Para minimizar problemas de aeração, os sulcos de irrigação devem ser mais fundos que o normalmente adotado para outras espécies, sendo recomendada uma profundidade de 25 cm a 30 cm. Uma das principais desvantagens da irrigação por sulco está relacionada a doenças de solo. Além de favorecer condições de alta umidade no solo após a irrigação, a água pode atuar como veículo na propagação de patógenos ao longo do sulco (MAROUELLI; CARRIJO, 1987).

Irrigação por gotejamento

O gotejamento, que até alguns anos atrás era tido como um sistema economicamente inviável para a cultura da batata, vem despertando interesse de vários produtores de batata em Minas Gerais e São Paulo. Alguns produtores já vêm realizando avaliações do sistema. Em 2003, foram irrigados cerca de 60 ha de batata sob gotejamento.

Por aplicar água diretamente ao solo e junto à planta, sem molhar toda a superfície do solo, a folhagem e os frutos, o sistema por gotejamento reduz substancialmente o consumo de água (entre 20% e 40%) e a incidência de doenças da parte aérea da cultura da batata (DU PLESSIS et al., 2003; GUIMARÃES; BETTINI, 2001). Além disso, possibilita que os nutrientes sejam fornecidos de forma parcelada via fertirrigação, atendendo às necessidades atuais das plantas. Assim, tanto o nível de umidade quanto o de fertilidade do solo podem ser mantidos próximo ao ótimo durante todo o ciclo fenológico da cultura, maximizando o acúmulo de fotoassimilados nos tubérculos.

Guimarães e Bettini (2001) relatam que a irrigação por gotejamento, em estudo realizado em Holambra, SP, utilizando a cultivar Atlantic, possibilitou incremento de produtividade em torno de 20% em relação ao sistema por aspersão. Segundo os autores, esse incremento, em adição à economia de água, energia e agrotóxicos, principalmente fungicidas, viabiliza o uso do gotejamento. Incrementos semelhantes têm sido observados em áreas de produção comercial na região da Serra do Salitre, MG. Em 2002, as produtividades foram de 55 t ha^{-1} nas áreas sob gotejamento e de 45 t ha^{-1} nas áreas sob pivô central. Destaca-se que, nos dois sistemas de produção, as irrigações e a fertilização, parte realizada via fertirrigação, são manejadas para atender às necessidades da cultura.

Comparativamente à irrigação por sulco, Boujelben e M'Barek (1997) verificaram que o gotejamento proporcionou um incremento da ordem de 30% na produtividade de batata, atribuído ao aumento do número de tubérculos por planta, ocorrido em virtude da uniformidade de distribuição de água e da não ocorrência de deficit hídrico.

Apesar de possibilitar incrementos significativos de produtividade em relação aos sistemas tradicionais de irrigação, o gotejamento não tem sido recomendado para a irrigação da batata, de forma geral, nos Estados Unidos (SHOCK et al., 2003). Isso se deve ao alto custo do sistema, à falta de tecnologia para se fazer o melhor uso do sistema e aos altos rendimentos geralmente obtidos quando a cultura é irrigada por sulco e aspersão.

Necessidade hídrica da cultura

Entre as hortaliças, a batata é uma das mais sensíveis ao estresse hídrico (KLASSEN et al., 2003). No entanto, muitas vezes é considerada, de forma errônea, como uma das que exigem maior quantidade de água, quando na verdade muitas outras hortaliças têm igual ou maior requerimento diário e total ao longo do ciclo de desenvolvimento. Essa confusão decorre de a planta de batata ser sensível ao deficit hídrico e ser frequentemente cultivada em solos de baixa ou moderada capacidade de retenção de água, fazendo que as irrigações sejam efetuadas em regime de alta frequência (KING; STARK, 1997). Segundo Wright e Stark (1990), a baixa tolerância à seca está relacionada a um sistema radicular superficial

e ineficiente das plantas, à sensível redução do transporte de fotoassimilados das folhas para as raízes, ao crescimento expansivo das folhas, hastes e raízes e à tendência de fechamento dos estômatos mesmo em condições de deficit hídrico moderado (Ψ_{folha}: -0,8 MPa a -1,0 MPa).

Embora a baixa produtividade e a pior qualidade de tubérculos estejam frequentemente associadas a irrigações deficitárias, o excesso de água também prejudica o rendimento da cultura em razão dos problemas de aeração do solo, do aumento da incidência de doenças e da lixiviação de nitrogênio (KING; STARK, 1997; KLASSEN et al., 2003).

O uso de água na cultura da batata é altamente variável, sendo dependente das condições climáticas, da cultivar e do sistema de cultivo. A evapotranspiração total varia entre 250 mm e 550 mm (CAIXETA; MIZUBUTI, 1988; FRANKE; KONIG, 1994; MAROUELLI et al., 1988). Para cultivares altamente exigentes em água, de ciclo longo ou em regiões de alta demanda evaporativa, o uso de água pode superar 600 mm.

A duração do ciclo fenológico da batata varia entre 85 e 120 dias, dependendo da cultivar, das práticas culturais e das condições ambientais. Na produção de batata-semente, o ciclo pode ser inferior a 85 dias. Em países de clima temperado, a duração do ciclo frequentemente ultrapassa 120 dias.

Para fins de requerimento hídrico, o ciclo da cultura pode ser dividido em cinco estádios: inicial, vegetativo, estolonização e tuberização, formação da produção e senescência.

Estádio inicial

O estádio inicial vai do plantio da batata-semente brotada até a emergência das hastes (7 a 10 dias). A necessidade de água é mínima e o excesso é prejudicial, reduzindo a aeração do solo a níveis que favorecem o desenvolvimento de vários patógenos e a respiração dos tubérculos, levando a batata-semente a um estresse metabólico (PAVLISTA, 2003). Grande parte da evapotranspiração refere-se à evaporação de água do solo, que será tanto maior, quanto mais frequentes forem realizadas as irrigações.

Por um lado, o excesso de umidade no solo após o plantio favorece o apodrecimento da batata-semente, além de retardar o aquecimento do solo, atrasando a emergência das hastes. Por outro lado, a deficiência de água pode provocar a queima de brotos, retardar a emergência e acarretar falhas de estande no campo (KING; STARK, 1997; MAROUELLI, 1997). Assim, recomenda-se que o plantio seja realizado em solo previamente irrigado e que se evitem irrigações adicionais até a emergência. A irrigação inicial deve ocorrer de 1 a 3 dias antes do plantio, respectivamente para solos arenosos e argilosos, e a lâmina deve ser suficiente para elevar a umidade à capacidade de campo até 30 cm de profundidade. No caso de solos arenosos e/ou condições de alta evaporação, pode ser necessário irrigar entre o plantio e a emergência.

Estádio vegetativo

Compreende o período que vai da emergência das hastes até o aparecimento dos estolões (15 a 20 dias). À medida que o sistema radicular e a parte aérea se desenvolvem, aumenta a exigência de água da cultura.

A deficiência moderada de água pode limitar o crescimento da planta, mas não chega a comprometer a produção caso a irrigação seja adequada nos estádios subsequentes. Irrigações em excesso favorecem maior incidência de doenças do solo e da parte aérea (MAROUELLI, 1997). Uma vez que o sistema radicular da cultura é ainda superficial (10 cm a 20 cm) e a evapotranspiração é cerca de 50% da que se verifica no estádio de máxima demanda de água (formação da produção), as irrigações devem ser frequentes e em pequena quantidade.

Estádio de estolonização e tuberização

É o estádio mais crítico da cultura da batata à deficiência hídrica (DOORENBOS; KASSAM, 2000). Engloba o período que vai do início da formação dos estolões até o crescimento inicial dos tubérculos (15 a 20 dias).

A falta de água, principalmente no início da tuberização, reduz o número de tubérculos por planta. Por sua vez, em cultivares com tendência à formação de muitos tubérculos, condições de alta umidade podem aumentar muito o número de tubérculos por planta, diminuindo o seu tamanho (MAROUELLI, 1997; MAROUELLI et al., 1988). Assim, uma boa estratégia para a produção de batata-semente é manter condições favoráveis de água no solo durante a tuberização, visando maximizar o número de tubérculos por planta.

Estádio de formação da produção

Abrange o período entre o crescimento inicial dos tubérculos (tuberização) e o início da senescência das plantas (40 a 55 dias). É

caracterizado pelo crescimento acelerado da parte aérea e o acúmulo de fotoassimilados nos tubérculos.

O estádio de formação da produção é o segundo mais sensível à deficiência de água e aquele em que as plantas usam água mais intensamente (DOORENBOS; KASSAM, 2000). Condições ótimas de água no solo favorecem maior tamanho de tubérculos, maior teor de amido, melhor qualidade culinária e conservação pós-colheita da batata (WRIGHT; STARK, 1990).

A estratégia de manejo de irrigação para a obtenção de batatas graúdas deve ser a de fornecer quantidades moderadas de água no início da tuberização, visando otimizar o número de tubérculos por planta e, a partir de então, aplicar quantidades suficientes de água para maximizar o crescimento dos tubérculos. Substancial incremento de massa dos tubérculos será obtido enquanto a parte aérea da cultura mantiver alta taxa de fotossíntese durante o maior período possível.

Estádio de senescência

O estádio que vai do início da senescência das plantas até a colheita dos tubérculos (10 a 15 dias), é o mais tolerante ao deficit hídrico (DOORENBOS; KASSAM, 2000). Em razão, principalmente, da perda da folhagem das plantas, pois ocorre uma redução acentuada da evapotranspiração, superior a 30% da observada no estádio de formação da produção. Solos muito secos ou úmidos podem dificultar a colheita e prejudicar a qualidade e a conservação pós-colheita dos tubérculos.

Manejo de irrigação

De uma maneira geral, a irrigação da cultura da batata tem sido realizada de forma empírica, apenas com base no senso comum, por meio de práticas inadequadas de manejo e do uso de sistemas de irrigação com baixa uniformidade de distribuição de água. Mesmo realizando as irrigações geralmente em excesso, as plantas são muitas vezes submetidas a condições de deficit hídrico. Assim, é possível aumentar a produtividade em até 20% e reduzir a lâmina total de água aplicada em até 30% somente por meio do controle eficiente da irrigação (MAROUELLI, 1997).

Apesar de a cultura ser sensível ao deficit hídrico, o excesso, seja por irrigações muito frequentes, seja pela aplicação excessiva de água, também pode acarretar sérios prejuízos. Entre os expressivos benefícios do manejo adequado da irrigação, destacam-se: manutenção do nível apropriado de umidade no solo, possibilitando obtenção de alta produtividade e tubérculos de boa qualidade; uso racional dos recursos água e energia; redução da incidência de doenças, minimizando o uso de agrotóxicos; e redução da lixiviação de nutrientes, especialmente nitrogênio.

Vários são os métodos que podem ser utilizados para o manejo de irrigação na cultura da batata. Podem ter como base informações relacionadas a um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera. Os que permitem melhor controle da irrigação são aqueles em que o manejo é realizado em tempo real, por meio de sensores para a medição do status da água no solo e/ou da estimativa da evapotranspiração (MAROUELLI et al., 1996). O

custo, a precisão e a simplicidade da operacionalização dependem do nível de sofisticação do método utilizado.

Métodos com base em medidas no solo

Informações qualitativas e quantitativas sobre a disponibilidade de água no solo têm sido largamente utilizadas para a determinação do momento da irrigação por agricultores em todo o mundo.

Na prática, a avaliação do status de água no solo tem sido realizada muitas vezes pelo bataticultor por meio do tato e da aparência visual do solo. A precisão do procedimento é limitada, principalmente para agricultores sem o devido treinamento ou prática. De qualquer forma, a amostra de solo deve ser coletada a cerca de 50% da profundidade efetiva das raízes da batata, e não da camada superficial do solo, em pelo menos três pontos representativos da área.

Por expressar a força com que a água se encontra retida e, portanto, exercer papel importante no processo de absorção da água no solo pela planta, a tensão de água no solo pode ser utilizada para avaliar indiretamente a deficiência de água na planta e determinar o momento ótimo para efetuar a irrigação. Ademais, a curva de retenção de água no solo possibilita que seja estimada a quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação.

Em termos gerais, as irrigações da cultura da batata devem ser realizadas quando a tensão de água no solo, avaliada a 50% da profundidade efetiva das raízes, atingir entre 15 kPa e 40 kPa (AGUIAR NETTO et al., 1998; MAROUELLI et al., 1988; MONEY, 2000). Para irrigação por gotejamento, Shock et al. (2003) relatam

que as tensões devem ser substancialmente maiores (menos negativas) que aquelas recomendadas para irrigação por aspersão ou sulco. Além do sistema de irrigação, o valor ótimo de tensão crítica depende do tipo de solo e do estádio fenológico da cultura, podendo ser determinada a partir da Tabela 1.

Tabela 1. Valores de tensão da água no solo (kPa) para fins de manejo de irrigação na cultura da batata, conforme a textura do solo, o estádio da cultura e o sistema de irrigação.

Irrigação	Estádios I, II e V[(1)]		Estádios III e IV[(1)]	
	Grossa	Média/Fina	Grossa	Média/Fina
Aspersão/Sulco	25	40	15	25
Gotejamento	10	20	10	15

[(1)] I-inicial; II-vegetativo; III-estolonização/tuberização; IV-formação da produção; V- senescência.
Fonte: adaptado de Aguiar Netto et al. (1998), Marouelli et al. (1988) e Money (2000).

A tolerância ao estresse hídrico das cultivares pode variar de forma significativa (CAIXETA; MIZUBUTI, 1988; KING; STARK, 1997); todavia, não se dispõe de informações seguras sobre tensões críticas para as diferentes cultivares. Sabe-se, por exemplo, que a cultivar Ágata é mais sensível ao estresse hídrico que a ‘Jaette-Bintje’, e que a ‘Monalisa’ apresenta sensibilidade intermediária às duas anteriores.

O tensiômetro é um dos sensores mais utilizados em todo o mundo para quantitativamente monitorar a tensão de água no solo em campos de batata (WRIGHT; STARK, 1990). O status de água no solo também tem sido determinado por gravimetria ou por meio de sensores capacitivos e de resistência elétrica. Os sensores devem ser instalados na linha de plantio, entre 10 cm e 15 cm da planta.

Foi desenvolvido pela Embrapa Hortaliças um sensor de tensão de água no solo denominado Irrigas®, que apresenta custo reduzido, baixa manutenção e é de fácil utilização (CALBO; SILVA, 2001). O sensor está disponível nas versões de 15 kPa, 25 kPa e 40 kPa. A desvantagem é que o sensor não indica, de forma quantitativa, a tensão atual de água no solo; indica somente se está abaixo ou acima do valor de referência (15 kPa, 25 kPa e 40 kPa).

O fator de reposição de água ao solo (f) recomendado para a irrigação por aspersão e sulco da cultura da batata varia de 0,30 a 0,50, sendo o menor valor indicado para os estádios mais críticos ao estresse hídrico (KING; STARK, 1997; MAROUELLI; CARRIJO, 1987; WRIGHT; STARK, 1990). Para irrigação por gotejamento, em que o solo deve ser mantido com teor mais elevado de água, deve-se considerar uma fração entre 0,20 e 0,30.

Métodos com base em medidas na planta

Teoricamente, o momento da irrigação pode ser determinado com base na planta, pela avaliação da aparência visual de deficit hídrico, do potencial de água na folha ou da temperatura da folha. No campo, são pouco confiáveis para fins de manejo.

Na prática, muitos bataticultores têm definido o momento da irrigação com base na aparência visual da planta. Todavia, esse critério não é, usualmente, satisfatório para determinar o momento da irrigação, pois, quando sintomas visuais de deficiência hídrica são apresentados pelas plantas, as atividades fisiológicas e a produtividade de tubérculos já estão comprometidas. A medição da temperatura da folhagem por meio de termômetro infravermelho, da mesma forma que o método visual, também não é confiável para

indicar a irrigação da batata em razão de as variações de temperatura serem significativas somente em condições de estresse moderado a alto, quando a tensão de água no solo for superior a 70 kPa. Da mesma forma, diferenças do potencial de água na folha de plantas em condições de deficit e irrigadas adequadamente são muito pequenas para fornecer informações úteis para fins do manejo de água (STARK; WRIGHT, 1985; WRIGHT; STARK, 1990).

Métodos com base em medidas climáticas

Entre as variáveis climáticas que podem ser utilizadas para a estimativa da necessidade de água das plantas, destacam-se a radiação solar, a temperatura, a umidade relativa e a evaporação de água.

O cálculo da evapotranspiração não possibilita estimar de forma direta o momento da irrigação, mas apenas a quantidade de água a ser aplicada. Para fins de manejo de irrigação em tempo real, faz-se necessária a determinação do balanço de água no solo, que pode ser realizada manualmente, usando-se uma planilha eletrônica ou programas de computador já disponíveis no mercado.

Em virtude das dificuldades de obtenção da evapotranspiração por medições diretas e exatas em condições de campo, métodos indiretos são utilizados para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo). Assim, utilizando-se coeficientes de cultura (Kc) ajustados para a batata, pode-se determinar a ETc nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Para o manejo de irrigação em tempo real, a ETo pode ser determinada a partir de uma equação, como a de Penman-Monteith, ou da evaporação do tanque Classe A, como mais frequentemente adotado na cultura da batata.

Valores de Kc, para os diferentes estádios fenológicos da batata, são apresentados na Tabela 2. Esses valores não requerem, via de regra, ser multiplicados por coeficientes visando a seu ajuste para condições de deficit de água no solo.

Tabela 2. Coeficiente de cultura (Kc) da batata conforme o estádio de desenvolvimento e o sistema de irrigação.

Estádio	Sistema	
	Aspersão/Sulco	Gotejamento
Inicial	0,45–0,55(1)	0,60–0,70
Vegetativo	0,45–0,55(1)	0,60–0,70
Estolonização/tuberização	0,75–0,85	0,75–0,85
Formação da produção	1,00–1,10	0,85–1,00
Senescência	0,65–0,75	0,55–0,60

(1) Para turno de rega (TR) de 1 dia, usar Kc = 1,00 a 1,10; TR de 2 dias, Kc = 0,80 a 0,90.

Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Franke e Konig (1994), Marouelli e Guimarães (2006) e Sanchez et al. (1988).

A grande limitação desses métodos está na precisão da estimativa da ETc, que depende da fidelidade dos coeficientes utilizados. Como os coeficientes podem ser afetados por fatores como sistema de cultivo, condições climáticas, sistema de irrigação, manejo de água e cultivar, recomenda-se a utilização de valores determinados para condições específicas, casos disponíveis. E mais, a avaliação periódica da disponibilidade de água no solo, ao longo do ciclo da cultura, permite evitar que erros cumulativos na estimativa da ETc acarretem condições de excesso ou falta de água, além de possibilitar ajustes nos coeficientes de cultura utilizados (WRIGHT; STARK, 1990).

Métodos com base na evapotranspiração histórica

Um procedimento mais simples e que não requer o uso de equipamentos é o estabelecimento antecipado do calendário de irrigação, ou seja, do turno de rega e da lâmina de irrigação para cada estádio da cultura.

Por utilizar dados históricos de evapotranspiração para estabelecer o intervalo entre irrigações durante cada estádio da cultura, o critério é menos preciso que aqueles realizados em tempo real. A sensibilidade pode aumentar de forma expressiva, durante o período seco do ano ou em regiões semiáridas, quando a variabilidade temporal da evapotranspiração é reduzida, e a ETc histórica pode representar satisfatoriamente a atual (FERERES et al., 1981).

Tabelas para a estimativa da ETc (Tabela 3) e do turno de rega (Tabela 4) para os diferentes estádios da batata, a partir dos dados históricos de temperatura e umidade relativa do ar, do tipo de solo e da profundidade de raiz, foram desenvolvidas pela Embrapa Hortaliças (MAROUELLI et al., 2008).

Tabela 3. Evapotranspiração da cultura da batata (mm dia^{-1}) irrigada por aspersão ou sulco conforme a umidade relativa (UR_m), a temperatura em média (T_m) do ar e o estádio de desenvolvimento.

UR_m (%)	Temperatura (ºC)											
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Estádios inicial e vegetativo												
40	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6	4,0	4,3	4,7	5,1	5,4
50	1,6	1,8	2,1	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5
60	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6
70	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7

UR_m (%)	Temperatura (ºC)											
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
80	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8
90	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9
Estádio de estolonização/tuberização												
40	3,1	3,5	3,9	4,4	4,8	5,3	5,8	6,4	6,9	7,5	8,1	8,7
50	2,6	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,9	5,3	5,8	6,2	6,7	7,3
60	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,6	3,9	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8
70	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,5	3,7	4,0	4,4
80	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
90	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5
Estádio de formação da produção												
40	4,1	4,6	5,2	5,7	6,4	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,6	11,4
50	3,4	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,4	7,0	7,6	8,2	8,8	9,5
60	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6
70	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7
80	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8
90	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9
Estádio de senescência												
40	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6
50	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,9	4,3	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4
60	1,8	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7	5,1
70	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8
80	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5
90	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3

Fonte: adaptado de Marouelli et al. (2008).

Tabela 4. Turno de rega (dia) para a cultura da batata irrigada por aspersão conforme a evapotranspiração da cultura (*ETc*), a profundidade das raízes e a textura do solo.

ETc (mm dia^{-1})	Profundidade efetiva das raízes								
	10 cm			20 cm			30 cm		
	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina
1	3	5	8	6	11	16	-	-	-

ETc (mm dia^{-1})	Profundidade efetiva das raízes								
	10 cm			20 cm			30 cm		
	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina
2	1	3	4	3	5	8	4	8	12
3	1	2	3	2	4	5	3	5	8
4	1	1	2	1	3	4	2	4	6
5	1	1	2	1	2	3	2	3	5
6	½[1]	1	1	1	2	3	1	3	4
7	½[1]	1	1	1	2	2	1	2	3
8	-	-	-	1	1	2	1	2	3
9	-	-	-	1	1	2	1	2	3
10	-	-	-	1	1	2	1	2	2
11	-	-	-	1	1	1	1	1	2
12	-	-	-	-	-	-	1	1	2

[1] ½ = 2 irrigações por dia.
Fonte: adaptado de Marouelli et al. (2008).

Considerações gerais sobre manejo de irrigação

O plantio da batata-semente deve ser realizado em solo úmido, mas não encharcado, fazendo-se uma irrigação leve em seguida (JUNQUEIRA; OLIVEIRA, 1996). Se a umidade inicial não for satisfatória, deve-se promover uma irrigação cerca de 3 dias antes do plantio, suficiente para que a umidade do solo na camada até 30 cm atinja entre 70% e 90% da capacidade de campo por ocasião do plantio (KING; STARK, 1997). Em solo seco, sugere-se aplicar uma lâmina entre 15 mm, para textura grossa, e 40 mm para textura fina. No caso de irrigação por gotejamento, a lâmina deve ser 30% menor em ambos os casos.

Para fins de cálculo da lâmina de água disponível no solo, da lâmina de irrigação e da instalação de sensores de umidade, é necessário o conhecimento da profundidade efetiva das raízes das plantas. As raízes da planta de batata desenvolvem-se rapidamente no estádio vegetativo, atingindo uma profundidade máxima na primeira metade do estádio de formação da produção. A profundidade efetiva máxima para a maioria das áreas de produção no Brasil situa-se em torno de 30 cm. Deve, contudo, ser avaliada para cada estádio da cultura e local específico de cultivo, pois é altamente afetada pelas condições de solo.

O conhecimento antecipado da data das irrigações possibilita que as práticas culturais e outras atividades na propriedade possam ser planejadas com antecedência. Principalmente para o agricultor, é altamente desejável manejar a irrigação a partir de um turno de rega fixo, visto que as irrigações e os tratos fitossanitários na cultura da batata são realizados de forma frequente. Esse problema é mais crítico na aspersão, em que a água aplicada às folhas pode interferir no tratamento fitossanitário, prejudicando o controle químico de insetos e doenças da parte aérea. Assim, métodos de manejo que possibilitem a adoção de calendários fixos de irrigação devem ser considerados.

As irrigações devem ser paralisadas de 3 a 10 dias antes da colheita, sendo o menor valor para solos com baixa retenção de água e condições de alta demanda evaporativa. Tal prática permite a colheita de batatas mais limpas e com melhor fixação da película e melhor conservação dos tubérculos. Todavia, caso haja risco de ataque de traça-cumum aos tubérculos, deve-se irrigar até mais próximo à colheita (MAROUELLI e GUIMARÃES, 206).

Associação da irrigação e da fertilização com doenças

Embora água e nutrição tenham grande influência na quantidade de doenças fúngicas, bacterianas e fisiológicas na cultura da batata, os agricultores geralmente fertilizam e irrigam suas lavouras de forma inadequada, na maioria das vezes aplicando excesso de água (OLIVEIRA; VALADÃO, 1997; SILVA et al., 2002). Plantas bem nutridas e sem estresse hídrico são mais resistentes a doenças e pragas, além de produzirem tubérculos de melhor qualidade.

Irrigações em excesso, especialmente em solos com problema de drenagem, favorecem várias doenças de solo (OLIVEIRA; VALADÃO, 1997; PAVLISTA, 2003; SILVA et al., 2002), como rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*), murcha-bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), sarna-prateada (*Helminthosporium solani*), sarna-pulverulenta (*Spongospora subterranea*), canela-preta e podridão-mole (*Erwinia* spp.).

O excesso de umidade durante o estádio inicial promove condições de anaerobiose no solo, favorecendo o ataque de *Erwinia* spp. Por sua vez, a falta de água retarda a emergência, deixando os brotos mais tempo expostos ao ataque de patógenos menos exigentes em água, como a *Rhizoctonia solani*.

A deficiência de água no solo, especialmente no início da tuberização, e solos com pH acima de 6,0 favorecem a ocorrência da sarna-comum (*Streptomyces* spp.), comprometendo a qualidade dos tubérculos (PAVLISTA, 2003; SILVA et al., 2002).

O excesso de nitrogênio torna as plantas mais susceptíveis à requeima (*Phytophthora infestans*) e à pinta-preta (*Alternaria solani*), além de promover crescimento luxuriante da planta em detrimento da produção de tubérculos. O excesso de potássio favorece a pinta-preta e o ataque de pulgões. Maior incidência de pulgões também pode ser favorecida pela deficiência ou excesso de nitrogênio (SILVA et al., 2002).

A irrigação por aspersão, especialmente quando em regime de alta frequência durante o estádio de formação da produção, favorece condições de elevada umidade no dossel vegetativo, podendo aumentar a incidência de doenças da parte aérea, como a requeima e a pinta-preta (LOPES; JABUONSKI, 1987; PAVLISTA, 2003). Além disso, a aspersão limita o crescimento populacional de traça-comum (*Phtorimaea operculella*), comparativamente a sistemas que não molham a folhagem das plantas (SILVA et al., 2002; STYLIANOU; ORPHANOS, 1981), assim como minimiza a incidência de insetos vetores de viroses, como pulgões.

Pontos de encharcamento nos campos de produção de batata frequentemente transformam-se em focos de disseminação e multiplicação de doenças de solo. Na irrigação por sulco, o problema deve-se, em geral, a sulcos desnivelados. Na aspersão, pode ocorrer em razão de problemas de vazamentos, baixa uniformidade de distribuição de água, drenagem deficiente, depressões no solo e áreas compactadas por máquinas e implementos (MAROUELLI et al., 2008). A disseminação de doenças na lavoura também pode ter a água de irrigação como veículo. Assim, o conhecimento da origem e da qualidade da água é importante para minimizar tais riscos.

Uma potencial desvantagem do sistema por gotejamento pode estar relacionada ao aumento do risco de ocorrência da murcha-bacteriana, que se deve à formação de um bulbo saturado próximo à planta, resultante da aplicação da água de forma pontual e em regime de alta frequência. Segundo Marouelli et al. (2003), esse risco deve servir de alerta para produtores que planejam substituir aspersão por gotejamento, principalmente em condições sujeitas a temperaturas mais elevadas.

Doenças ou distúrbios fisiológicos de tubérculos podem ser provocados por condições de estresse ambiental, as quais afetam o metabolismo da planta, notadamente aqueles distúrbios associados à irrigação e à fertilização. As cultivares de batata, entretanto, apresentam comportamento diferenciado quanto à susceptibilidade a distúrbios fisiológicos. Cultivares tolerantes, por exemplo, raramente apresentam certos tipos de distúrbio mesmo em condições extremas de estresse hídrico ou nutricional.

Plantas de batata irrigadas em excesso, principalmente durante o estádio de estolonização/tuberização, apresentam maior potencial para a ocorrência de distúrbios como coração-oco, destacadamente em cultivares de tubérculos muito grandes, e coração-preto (OLIVEIRA; VALADÃO, 1997; PAVLISTA, 2003). A ocorrência de coração-oco pode ainda estar relacionada à deficiência de potássio e ao desbalanço hídrico (ÁVILA et al., 1999).

Em contraste, a deficiência de água durante o crescimento inicial do tubérculo pode provocar aumento do teor de açúcar, em detrimento do amido, na parte basal do tubérculo, inviabilizando seu uso para fritura (PAVLISTA, 2003; WRIGHT; STARK, 1990).

O desbalanço hídrico e nutricional, durante o estádio de formação da produção, pode causar, em algumas cultivares, maior incidência de distúrbios fisiológicos, como embonecamento e rachaduras dos tubérculos. Tais distúrbios ocorrem em virtude da interrupção do crescimento normal do tubérculo em razão de um período de deficit hídrico, e do posterior crescimento acelerado em decorrência de chuva, irrigação ou adubação nitrogenada em excesso. O distúrbio conhecido como unhadura também pode estar associado ao desbalanço hídrico (ÁVILA et al., 1999; SILVA et al., 2002).

Condições de deficit ou excesso de água próximas à colheita podem também comprometer a qualidade da batata. Tubérculos colhidos relativamente desidratados, como resultado de baixa umidade no solo por ocasião da colheita, são mais susceptíveis a problemas de esfoladura ao serem manipulados (KING; STARK, 1997). Ademais, a antecipação da data da última irrigação além do recomendado pode favorecer o ataque de traça-comum aos tubérculos. Assim, notadamente em solos que, ao secarem, apresentam formação de pequenas galerias ou rachaduras, as irrigações devem ser realizadas até mais próximo da colheita (1 a 3 dias).

Por sua vez, batatas muito túrgidas, em razão de alta umidade no solo durante a colheita, são mais sujeitas à unhadura (KING; STARK, 1997). Tubérculos colhidos em solos com excesso de umidade podem ainda apresentar lenticelas excessivamente desenvolvidas, desvalorizando o produto e favorecendo a penetração de patógenos antes e depois da colheita, como *Erwinia* spp. (LOPES; JABUONSKI, 1987). A lenticelose, que também é favorecida pelo excesso de água durante o estádio de formação da produção (PAVLISTA, 2003), é uma anormalidade que pode ser

observada com relativa frequência em campos de produção de batata.

Programa e manejo da adubação

Adubar é fazer um seguro de produtividade, algumas vezes desnecessário. Não existe recomendação mágica, universal e estática. Qualquer programa de adubação deve ser entendido como referencial que necessita ser ajustado para cada situação específica.

Um programa preciso de adubação, que deve estar inserido no sistema global e integrado de produção, visa otimizar o rendimento econômico da cultura dentro do conceito de sustentabilidade ambiental (FONTES, 2002). Com base em conceitos, princípios, análises, premissas, experiência, tradição, enfim, conhecimento, técnicos e produtores têm procurado responder às perguntas: por que, como, quando, quanto e com que adubar. Respostas a tais perguntas podem ser chamadas de programa de adubação da batata (PAB) e têm sido publicadas em diversos países e estados brasileiros. Qualquer que seja o programa, deve ser entendido como um referencial que precisa ser ajustado para cada local (FONTES, 2002). O ajuste ou sintonia fina pode ser chamado de manejo preciso da adubação (MPA).

É utopia esperar que os órgãos públicos de pesquisa sejam capazes de executar a sintonia fina das recomendações de adubação. Há países de reduzida extensão territorial, com associações de

produtores organizadas e atuantes, dispondo de grande volume de informações publicadas, com safra em período definido, maior homogeneidade na tecnologia de produção e que dedicam maiores recursos à pesquisa e à extensão. Mesmo nesses países, a sintonia fina do programa de adubação depende, em grande parte, do envolvimento direto do produtor. Esse tema trata de tarefa específica e envolve interações em diversos níveis.

Interações entre nutrientes

As plantas obtêm do CO_2 atmosférico, da água e do ar os elementos essenciais: C, H e O. Os demais nutrientes, N, P, S, B, Cl, Mo, K, Mg, Ca, Mn, Zn, Fe e Cu, são obtidos da solução do solo, naturalmente existentes ou adicionados. A decisão de fornecer nutrientes às culturas é complicada, em parte, pela interação entre eles, o que ocorre em diversos níveis: no momento da absorção pelas raízes, do transporte no solo ou na planta; durante o metabolismo ou quando as funções de um nutriente são influenciadas por outro, podendo ou não resultar em alteração no crescimento.

As interações são particularmente importantes para a cultura da batata, considerando-se as altas doses de NPK que são adicionadas, podendo levar à deficiência de alguns, principalmente micronutrientes, ou excesso de outros. Por exemplo, alta dose de P aplicada ao solo reduz a toxidez de Al e aumenta a disponibilidade de Mo, mas reduz a absorção de Zn, Cu, Mn e Fe pela precipitação destes. As interações entre nutrientes são complexas, ainda pouco entendidas, e pode ter diferentes magnitudes tanto no solo quanto na planta. As interações mais conhecidas e frequentes precisam ser

consideradas no diagnóstico nutricional e na otimização do programa de adubação, visando maior eficácia na absorção e produção de batata.

Interações amplas ditam a produtividade da cultura

O entendimento das interações torna-se ainda mais complexo, pois os nutrientes sozinhos não determinam a produtividade de um campo de batata. A produção é um processo integrado por diversos fatores. Os de maior relevância: genotípico, gerencial, edáfico (grau de erosão, matéria orgânica, estrutura, textura, compactação, declividade, nutrientes, água e ar), climático (irradiância, comprimento do dia, temperaturas máxima, mínima e flutuações, intensidade e distribuição de chuva e vento), biológicos (microrganismos do solo, doenças, pragas e plantas daninhas) e ligados à infraestrutura (transporte, comunicação e políticas), insumos (disponibilidade e qualidade, principalmente da batata-semente), mão de obra (conhecimento, treinamento, sensibilidade e motivação) e capital.

A produtividade da batata depende da interação dos fatores acima mencionados, formando um sistema de produção único para cada gleba/produtor. Quando os fatores são otimizados, é possível maximizar o lucro do produtor. Conhecendo-se o potencial de produtividade em determinada área, pode-se utilizar melhor os fertilizantes. Cultura mais produtiva necessita de maior disponibilidade de nutrientes que a menos produtiva, quase sempre conseguida com maior quantidade de fertilizantes. Portanto, a dose

de fertilizante a ser aplicada depende do potencial de produção do sistema.

Antes de o programa de adubação interferir em determinado fator, é necessário entender se esse fator é o limitante à obtenção de maior produtividade. Caso negativo, será perda de tempo e de dinheiro. Por exemplo, em área erodida, não é possível obter alta produtividade com a aplicação de dose elevada de fertilizante, pois o fator limitante não é a falta de quantidade elevada de nutrientes (ARAÚJO; FONTES, 2003). É a lei do mínimo.

Programa de adubação convencional

Há pontos que necessitam ser considerados nos programas de adubação apresentados para a batata (FONTES, 1987, 1997). Neste trabalho, busca-se responder objetivamente às questões quando, com que, quanto e como adubar a batata no tocante à aplicação de macro e micronutrientes, entendendo que calcário é importante.

Com que adubar?

Para o fornecimento dos nutrientes essenciais, há fertilizantes disponíveis em várias formulações, solubilidade, preço e eficácia. É necessário conhecer o comportamento de cada fonte, pois ocorre interação específica com o solo, provocando salinidade, alterando pH, solubilizando íons acompanhantes, entre outras.

No programa de adubação da batata com fertilizantes químicos, as principais fontes disponíveis dos macronutrientes são: ureia, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, superfosfatos simples e triplo, mono e

diamônio fosfato, cloreto de potássio e nitrato de potássio. O enxofre é adicionado normalmente como íon acompanhante do superfosfato e/ou do sulfato de amônio. Porém, ao ser utilizada fórmula concentrada de fertilizante, é necessário adicionar adubo contendo enxofre. Pela calagem, são fornecidos Ca e parte do Mg, que deve ser complementada com sulfato de magnésio. No caso dos micronutrientes, há disponibilidade das fontes inorgânicas (óxidos e sulfatos de Cu e Zn, bórax, ácido bórico e molibdato de sódio ou amônio), das quelatizadas orgânicas ou sintéticas, principalmente ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), e das fritas, *fritted trace element* (FTE). Nas condições brasileiras, não é comum aplicar Fe e Mn à cultura da batata. Informações adicionais sobre fertilizantes usados no Brasil podem ser encontradas em Ribeiro et al. (1999) e Vitti et al. (1994).

Quando adubar?

O fertilizante pode ser aplicado em duas ocasiões, no momento do plantio e em cobertura (no início da tuberização, antes da amontoa). O parcelamento é justificado pela possibilidade de a alta dose de N e K aumentar a concentração salina da solução do solo, pelo menos momentaneamente (FONTES, 2002). Alta condutividade da solução do solo em torno do tubérculo dificulta a brotação e a emergência, prejudica o crescimento do caule e da raiz (CROZIER et al., 2000) e reduz o stand, um dos pilares para a “captura” de grande quantidade de luz e CO_2 do ar, essenciais à alta produtividade, pois a batata tem limitada habilidade em compensar a densidade reduzida de hastes (CROZIER et al., 2000). Ademais, N e K estão sujeitos à lixiviação, principalmente em solos arenosos ou “arrastados” da área por precipitação intensa ou irrigação mal executada.

Geralmente, toda a dose dos micronutrientes, grande parte ou toda a quantidade de fósforo e porções de N e K são adicionadas ao solo imediatamente antes do plantio. A quantidade adicional de N e K é fornecida em cobertura. O controle acurado da disponibilidade de nutrientes no solo em curto período de tempo não tem sido motivo de preocupação dos produtores. Talvez, porque os nutrientes possam ficar disponíveis por dias após a aplicação, pela grande quantidade aplicada e pelo volume de solo fertilizado.

Como adubar?

Os fertilizantes são aplicados com adubadora-plantadora no momento do plantio, de forma localizada, em faixas laterais abaixo dos tubérculos-sementes. Também, no caso de áreas pequenas, os fertilizantes podem ser aplicados ao sulco de plantio manualmente. Em outros países, o procedimento tem sido a aplicação a lanço em toda a área e incorporação com enxada rotativa. Essa prática, contudo, pode ser utilizada desde que o teor de fósforo disponível no solo seja pelo menos médio.

Em cobertura, a aplicação de N e K (quando oportuno, o restante do fósforo) pode ser feita em pequenos sulcos, de 5 cm de profundidade, distantes 15 cm do caule, feitos em um ou em dois lados da planta, acompanhando a fileira de plantio. Após a aplicação, o sulco deve ser coberto com solo. É comum aplicar o fertilizante na superfície do solo, ao lado da planta e incorporá-lo com cultivador ao mesmo tempo em que é feita a amontoa.

Quanto adubar?

Doses diversas de fertilizante aplicadas em culturas distintas, ao longo do tempo, proporcionam diferentes níveis do nutriente no solo e, quanto maior o teor residual no solo, menor a probabilidade de resposta à aplicação desse nutriente. Estudos relacionando o teor disponível do nutriente no solo e a produção de batata não têm sido frequentes. Mais comuns são os estudos relacionando doses do nutriente com a produtividade da cultura, sem considerar o teor residual do nutriente e os custos do fertilizante e da aplicação, embora tais custos sejam normalmente baixos em relação ao valor da produção (dose ótima econômica).

Apesar das imperfeições, o resultado da análise do solo pode ser utilizado no estabelecimento das doses referenciais de fósforo e potássio, entretanto, com mais restrições, para os micronutrientes. Considerando-se os critérios de interpretação de análise do solo para a cultura da batata em Minas Gerais (Tabela 5), sugerem-se 420, 300, 120 e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 350, 220, 150, 50 kg ha^{-1} de K_2O para solos com teores baixo, médio, bom e muito bom de P e K respectivamente (FONTES, 1999a). Ainda deve ser aplicado sulfato de magnésio, no momento do plantio, na dose de 200 kg ha^{-1} a 500 kg ha^{-1}.

Tabela 5. Classes de interpretação da disponibilidade de fósforo e potássio para a cultura da batata.

Teor de argila (%)	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio[(1)]	Bom	Muito bom
	Fósforo disponível (mg dm^{-3})				
60–100	≤ 10,0	10,1–21,0	21,0–32,0	32,1–48,0	> 48,0
35–60	≤ 16,0	16,1–32,0	32,1–48,0	48,1–72,0	> 72,0
15–35	≤ 26,0	26,1–48,0	48,1–80,0	80,1–120,0	> 120,0
0–15	≤ 40,0	40,1–80,0	80,1–120,0	120,1–180,0	> 180,0

Potássio disponível (mg dm^{-3})					
-	≤ 15,0	16–40	41–70	71–120	> 120,0

(1) O limite superior desta classe indica o nível crítico.
Fonte: Fontes (1999a, 1999b).

A dose de N tem sido definida de maneira empírica, baseando-se na experiência ou raramente derivada da relação entre dose de N e produtividade. Sugestão de doses de N com base na produtividade esperada encontra-se na Tabela 6. Para qualquer fertilizante, a dose ótima econômica é ligeiramente menor que a dose necessária para obter a máxima produção de tubérculos (FONTES et al., 1987, 1997). De forma empírica e conservadora, esse conceito foi utilizado no estabelecimento da presente recomendação de quanto adubar.

Tabela 6. Dose de nitrogênio e sulfato de amônio (kg ha^{-1}) conforme a produtividade esperada de batata.

Produtividade (t ha^{-1})	Dose (kg ha^{-1})	
	Nitrogênio(1)	Sulfato de amônio
20	125	625
25	160	800
30	190	950
35	220	1.100
40	250	1.250
45	280	1.400

(1) Não é aconselhável aplicar mais que 150 kg ha^{-1} de N no sulco de plantio.
Fonte: Fontes (1997).

Para os solos não adubados com micronutrientes nos últimos 3 a 4 anos ou solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica, devem ser aplicados no momento do plantio pelo menos 10 kg ha^{-1} de sulfato de cobre, sulfato de zinco e bórax, além de 500 g ha^{-1} de

molibdato de sódio (FONTES, 1999b). Com o desenvolvimento da cultura, caso ocorram sintomas, pode-se minimizar o efeito negativo da deficiência pulverizando as folhas. Para tal, devem-se utilizar os sais anteriormente mencionados, na dose correspondente a um décimo da quantidade recomendada para a aplicação ao solo, diluída em 300 L ha^{-1} a 400 L ha^{-1} de água. A raiz é o órgão especializado em absorver grandes quantidades de nutrientes que, em pequena quantidade, podem ser absorvidos pelas folhas. Porém, pode ocorrer toxidez se houver erros na dose e interações imponderáveis com outros produtos aplicados à folha.

Quase todos os estados brasileiros já construíram suas “tabelas de adubação”. Apesar de úteis, as recomendações são gerais, pois foram geradas assumindo igual aproveitamento dos fertilizantes pelas diferentes espécies e sem considerar as peculiaridades dos variados sistemas de produção de batata existentes, que podem acarretar diferentes perdas e eficiência de utilização dos nutrientes. A utilização dos fertilizantes em quantidade acima da indicada nas tabelas é o procedimento mais comum, muitas vezes obtendo-se maior produtividade, mas nem sempre proporcionando o maior retorno econômico. Normalmente, no Brasil e em outros países, bataticultores aplicam maior quantidade de adubo que a recomendada (ALLISON et al., 2001; HOCHMUTH et al., 2002). Em parte, justificável pela insegurança, pela reduzida relação de preço do fertilizante e da batata, por não considerar o potencial de produtividade do sistema, por seguir tradição, por não tentar realizar o manejo preciso da adubação, pela não preocupação com a poluição ambiental e pela inexistência de critério simples, direto e confiável de utilizar a planta como indicadora de quanto adubar.

Adubação via água de irrigação

É ainda pouco comum a aplicação de nutrientes à cultura da batata via fertirrigação. As principais razões podem ser: ciclo relativamente curto da maioria das cultivares plantadas no País; ausência de condições propiciadoras de efeito positivo do parcelamento do fertilizante (solo arenoso e excesso de chuva durante o ciclo); possível falta de benefício significativo em parcelar a dose do fertilizante em várias aplicações; custo; e falta de conhecimento técnico-científico sobre o tema na cultura da batata.

Entretanto, a aplicação de fertilizante nitrogenado e potássico à cultura da batata, via água de irrigação, pode ser justificável em alguns casos: em solo com baixa capacidade de troca de cátions (CTC); em solo arenoso; em local onde possa ocorrer alta intensidade de chuva em curto período de tempo; em cultura de ciclo prolongado (maior comprimento de dia); em sistema de produção altamente produtivo; interesse em usar a ureia, pois não deve ser aplicada em dose alta no momento do plantio; no imprevisto de ocorrer deficiência de N após o início de tuberização; na tentativa de colocar o cálcio próximo aos estólons recém-formados. Além disso, a aplicação de N e K via gotejamento é uma opção na produção de batata-semente pela possibilidade de menor ocorrência de doenças foliares.

Há escassas referências científicas sobre a aplicação de fertilizante via água de irrigação à cultura da batata; a maioria refere-se ao N aplicado via irrigação por gotejamento. Mesmo nesse caso, a aplicação de parte da dose de N ao solo no momento do plantio é fundamental para o adequado e rápido crescimento vegetativo inicial. A demanda de N para variedades de ciclo curto e plantio de

inverno inicia-se na fase de crescimento da parte aérea, acentuando-se na fase de crescimento dos tubérculos. Dose alta de N no início do ciclo pode atrasar a emergência e a tuberização; alta disponibilidade de N no final do ciclo pode retardar a maturação dos tubérculos; e insuficiência de N causa senescência prematura e redução da produção. Para a produção de 35 t ha^{-1}, são retirados do solo cerca de 110 kg e 190 kg de N e K_2O pelos tubérculos respectivamente (FONTES, 1997).

Em outras culturas, a aplicação parcelada, principalmente via gotejamento, propicia redução da dose recomendada do fertilizante. A mesma redução foi obtida para a batata por Chawla e Narda (2001).

Na Austrália, o parcelamento de N em dez aplicações de ureia, cada uma com 42 kg ha^{-1} de N, via irrigação por gotejamento, semanalmente, com início duas semanas após o plantio, é feito em solos arenosos (HEGNEY; MCPHARLIN, 2000). Em 130 dias, da emergência à colheita, a produtividade total atingiu 75 t ha^{-1}, sendo 67 t ha^{-1} de tubérculos comerciais. Na fertirrigação por gotejamento, o reservatório de nutrientes no solo é menor, havendo a necessidade de aplicação mais frequente do fertilizante contendo N e K que na aspersão.

Provavelmente, estudos no País envolvendo a aplicação de fertilizante começarão a aparecer, à medida que pesquisas estabelecerem vantagens do sistema de irrigação por gotejamento, que ainda é muito pouco utilizado na cultura da batata (cerca de 60 ha). No Brasil, em 4 anos de teste em campo, a irrigação por gotejamento na cultura da batata, associada à fertirrigação, apresentou excelentes resultados (GUIMARÃES, 2003). Essa

possibilidade precisa ser considerada em razão do potencial de economizar água, diminuir o ataque de doenças foliares, propiciar eficiente uso de fertilizantes e possivelmente aumentar o lucro. Sugere-se, empiricamente, para ser testado em cultivares com o ciclo aproximado de cem dias, o parcelamento da aplicação de N e K via irrigação apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Sugestão do percentual da dose de nitrogênio (N) e potássio (K) a ser aplicado via aspersão ou gotejamento, em complemento aos 150 kg ha^{-1} e 220 kg ha^{-1} de N e K_2O aplicados ao solo no momento do plantio respectivamente. Todo o P, Mg e micronutrientes são aplicados ao solo no momento do plantio.

Nutriente	Aspersão							
	Época (dias após emergência da planta)							
	28		42		56		70	
	Dose relativa (%)							
N	28		24		24		24	
K	0		20		40		40	
Nutriente	**Gotejamento**							
	Época (dias após emergência da planta)							
	21	28	35	42	49	56	63	70
	Dose relativa (%)							
N	16	12	12	12	12	12	12	12
K	0	0	0	20	20	20	20	20

Fonte: adaptado de Marouelli e Guimarães (2006).

Na fertirrigação via aspersão, convencional ou pivô central, é necessário aplicar ao solo no momento do plantio todo o fósforo, magnésio, micronutrientes e parte do nitrogênio (em torno de 150 kg ha^{-1} de N) e do potássio (220 kg ha^{-1} de K_2O). O N e o K restantes podem ser aplicados via água a partir do início da tuberização (Tabela 7). A aplicação de P via irrigação é injustificada

(ALISSON et al., 2001; FONTES; FONTES, 1991). Há maior eficiência na aplicação e menor risco de queima das folhas se as gotas não secarem muito rapidamente, sendo as primeiras e últimas horas do dia as mais favoráveis.

Inicialmente, fica claro que referências científicas sobre o tema não são abundantes, havendo mais informações em artigos de divulgação. Nos Estados Unidos, as principais dificuldades, desvantagens e riscos em aplicar fertilizante via pivô central são: desuniformidade na aplicação de N em toda a área; investimento extra em equipamentos; as fontes de N específicas custam mais que as tradicionais para aplicação ao solo; o agricultor precisa aprender sobre segurança na quimigação, calibração e práticas de manejo; funcionamento impróprio do sistema acarretando fluxo inverso do adubo para a fonte de água; ter permissão governamental (WRIGHT et al., 1993). No Brasil, a maioria desses pontos pode existir, além da falta de conhecimento técnico-científico sobre o tema na cultura da batata.

A aplicação via pivô central permite ao produtor colocar quantidade adicional de N em caso de insuficiência, que pode ocorrer pela reduzida disponibilidade do N aplicado ao solo (excesso de chuva, por exemplo) ou por condições climáticas excepcionais que naquele momento indicam maior demanda pela planta.

A deficiência de N pode ser diagnosticada por procedimentos específicos, in situ ou em laboratório (FONTES, 2001; GIL et al., 2002). A aplicação do N via água de irrigação ajusta-se ao conceito de aplicar dose do nutriente apropriada a cada situação e momento ou agricultura de precisão. Nesse caso, é necessário o

sensoriamento em tempo real do estado nutricional da cultura da batata (FONTES, 2001).

Trabalhos sobre aplicação de fertilizante via pivô central tratam apenas da aplicação de doses suplementares do N, mas há indicação de que diversos produtores americanos estão aplicando cálcio (100 kg ha^{-1} a 200 kg ha^{-1} de Ca solúvel) durante a tuberização, na forma de nitrato de cálcio ou outra fonte, para contato da solução com os estólons, objetivando proporcionar maior acúmulo do Ca no tubérculo (SPILLMAN, 2003). Segundo o autor, a concentração de Ca nos tubérculos quase dobra e os danos durante a colheita, transporte e armazenamento são diminuídos. Tal prática é justificada em razão de o tubérculo estar circundado por ambiente úmido, transpirando pouco e acumulando pouco cálcio.

Segundo Wright et al. (1993), a fertirrigação aumenta a eficiência de utilização do N pela cultura da batata em alguns anos, enquanto em outros não há resposta. Quase sempre, a dose total de N varia entre 150 kg ha^{-1} e 300 kg ha^{-1}, dependendo do local, da cultivar e da produtividade esperada. Cerca de 50% da dose total é aplicada ao solo em pré-plantio e o restante é colocado via solo ou fertirrigação. Normalmente, a primeira aplicação ocorre no início da tuberização e as demais, aproximadamente quatro a cinco, a cada 15 dias, evitando-se doses acima de 30 kg ha^{-1} de N por aplicação (MORTVEDT et al., 1996).

Nos Estados Unidos, para uso em pivô central, as fontes mais comuns de N são nitrato de amônio, ureia e UAN, fertilizante líquido contendo ureia e nitrato de amônio, com 28% de N, sendo metade na forma amídica (WRIGHT et al., 1993). Fertilizante contendo amônia livre não deve ser aplicado via irrigação pela possibilidade

de reação com sais contidos na água, porque esses formam precipitados que podem entupir gotejadores, ou pela possibilidade de alguma parte ser perdida na atmosfera por volatilização, no caso da aspersão (WRIGHT et al., 1993).

Referências

AGUIAR NETTO, A. O.; RODRIGUES, J. D.; PINHO, S. Z.; NASCIMENTO JUNIOR, N. A. Produtividade da cultura da batata (*Solanum tuberosum* spp *tuberosum*), submetida a diferentes laminas de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais**... Lavras: SBEA: UFLA, 1998. p. 34-36.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 56).

ALLISON, M. F.; FOWLER, J. H.; ALLEN, E. J. Effects of soil and foliar applied phosphorus fertilizers on the potato (*Solanum tuberosum*) crop. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 137, p. 379-395, 2001.

ALTHOFF, D. A.; SILVA, A. C. F. O efeito da irrigação na cultura da batata no litoral sul catarinense. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 11, n. 41, p.27-32, 1998.

ARAÚJO, C.; FONTES, P. C. R.; Produção de batata em solo erodido, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, p. 370, 2003.

ÁVILA, A. C.; LOPES, C. A.; FRANÇA, F. H.; REIFSCHNEIDER, F. J. B.; HENZ, G. P.; BUSO, J.A.; FURUMOTO, O.; MELO, P. E.; FONTES, R. R.; MAROUELLI, W. A.; PEREIRA, W. **A cultura da batata**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 187 p. (Coleção Plantar, 42).

BISOGNIN, D. A. (Coord.). **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1996. 64 p.

BOUJELBEN, A.; M'BAREK, K. Potato crop response to drip irrigation system. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 449, p. 241-243, 1997.

CAIXETA, T. J.; MIZUBUTI, A. Efeito de diferentes lâminas de água em algumas cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. **Anais**... Florianópolis: ABID, 1988. v. 1, p. 65-87.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C. Irrigas: novo sistema para controle da irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: ABID, 2001. p. 177-182.

CHAWLA, J. K.; NARDA, N. K. Economy in water and fertilizer use in trickle fertigated potato. **Irrigation and Drainage**, Chichester, v. 50, n. 2, p. 129-137, 2001.

CROZIER, C. R.; CREAMER, N. G.; CUBETA, M. A. Fertilizer management impacts on stand establishment disease, and yield of Irish potato. **Potato Research**, Wageningen, v. 43, p. 49-59, 2000.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Editora da UFPB, 2000. 221 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DU PLESSIS, H. F.; STEYN, J. M.; FOURIE, P.; ROOS, T. **Drip irrigation and irrigation scheduling of potatoes**. Disponível em: <http://www.potatocongress.org/sub.cfm?source=141>. Acesso em: 30 mar. 2003.

FERERES, E.; GOLDFIELD, R. E.; PRUITT, W. O.; HENDERSON, D. W.; HAGAN, R. M. The irrigation management program: a new approach to computer assisted irrigation scheduling. In: IRRIGATION SCHEDULING CONFERENCE, 1981, Chicago. **Proceedings**... Saint Joseph: ASAE, 1981. p. 202-207.

FONTES, P. C. R. Batata. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em MG**: 5ª aproximação. Viçosa: SBCS, 1999a. p. 179.

FONTES, P. C. R. Calagem e adubação da cultura da batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 197, p. 42-52, 1999b.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Ed. da UFV, 2001. 122 p.

FONTES, P. C. R. **Fertilização de hortaliças**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HORTICULTURA, 11., 2002, Uberlândia. **Anais**... Uberlândia: [s.n.], 2002. 1 CD-ROM.

FONTES, P. C. R. Nutricão mineral de batata. In: REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Coord.). **Produção de batata**. Brasília, DF: Linha Gráfica, 1987. p. 40-56.

FONTES, P. C. R. **Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira**. Viçosa: Ed. da UFV, 1997. 42 p. (Caderno didático, 3).

FONTES, P. C. R.; FONTES, R. R. Efeito da aplicação de fósforo no solo e nas folhas sobre a produtividade da batata. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 38, n. 216, p. 159-169, 1991.

FONTES, P. C. R.; PAULA, M. B. de; MIZUBUTI, A. Produtividade de batata sob a influência de níveis do fertilizante 4-14-8 e do superfosfato simples. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 34, n. 191, p. 90-98, 1987.

FONTES, P. C. R.; ROCHA, F. A. T.; MARTINEZ, H. E. P. Produção de máxima eficiência econômica da batata, em função da adubação fosfatada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, n. 2, p. 104-107, 1997.

FRANKE, A. E.; KONIG, O. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) da batata (*Solanum tuberosum* L.), nas condições edafoclimáticas de Santa Maria/RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 4, p. 625-630, 1994.

GIL, P. T. de; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; FERREIRA, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

GUIMARÃES, T. G. **Irrigação por gotejamento para a cultura da batata**. Disponível em: <http://www.netafim.com.br/artigo.htm>. Acesso em: 26 set. 2003.

GUIMARÃES, T. G.; BETTINI, M. O. Irrigação por gotejamento para a cultura da batata. **Batata Show**, Itapetininga, v. 1, n. 3, p. 24-25, 2001.

HEGNEY, M. A.; MCPHARLIN, I. R. Response of summer-planted potatoes to level of applied nitrogen and water. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 23, n. 2, p. 197-218, 2000.

HOCHMUTH, G.; WEINGARTNER, P.; HUTCHINSON, C.; TILTON, A.; JESSEMAN, D. Potato yield and tuber quality did not respond to phosphorus fertilization of soils testing hight in phosphorus content. **HortTechnology**, Stanford, v. 12, n. 2, p. 420-423, 2002.

JUNQUEIRA, A. M. R.; OLIVEIRA, C. A. S. Determinação da época de início e de paralisação das irrigações na cultura da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 32-36, 1996.

KING, B. A.; STARK, J. C. **Potato irrigation management**. Moscow: University of Idaho Cooperative Extension System College of Agriculture, 1997. 16 p. (Bulletin, 789).

KLASSEN, G.; MILLS, G.; GEISEL, B. **Potato production**: irrigation. Disponível em: <http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/potatoes/bda01s11.htm>. Acesso em: 30 mar. 2003.

LOPES, C. A.; JABUONSKI, R. E. **Manejo da cultura da batata para o controle de doenças**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH, 1987. 6 p. (Circular Técnica, 5).

MAROUELLI, W. A. Irrigação. In: LOPES, C. A.; BUSO, J. A. (Ed.). **Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH, 1997. p. 16-19. (Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças, 8).

MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A. Irrigação. In: REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Ed.). **Produção de batata**. Brasília, DF: Linha Gráfica, 1987. p. 57-66.

MAROUELLI, W. A.; GUIMARÃES, T.G. **Irrigação na cultura da batata**. Itapetininga: Associação Brasileira da Batata / Embrapa Hortaliças, 2006. 66p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; LOPES, C. A. Irrigação por gotejamento aumenta riscos de ocorrência da murcha-bacteriana em tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, 2003. Suplemento. 1 CD-ROM.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; OLIVEIRA, C. A. S.; SILVA, H. R. Resposta da cultura da batata a diferentes regimes de irrigação. **Revista Latinoamericana de la Papa**, Bogotá, DC, v. 1, n. 1, p. 25-34, 1988.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 150 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: Embrapa-CNPH, 1996. 72 p.

MONEY, R. Scheduling irrigation of potatoes using tensiometers on light/medium to heavy soils. **Farmnote**, n. 107, p. 1-2, 2000. Disponível em: http://www.agric.wa.gov.au/objtwr/imported_assets/content/hort/veg/cp/potatoes/f10700.pdf. Acesso em: 28 abr. 2003.

MORTVEDT, J. J.; SOLTANPOUR, P. N.; ZINK, R. T.; DAVIDSON, R. D. **Fertilizing potatoes**. Fort Collins: Colorado State University, 1996. (Crop Series. Soil, n. 0.541). Disponível em:http://cospl.coalliance.org/fez/eserv/co:6321/ucsu2062205411996internet.pdf;. Acesso em: 15 set. 2003.

OLIVEIRA, C. A. S.; VALADAO, L. T. **Manejo da água do solo no cultivo da batata**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 1997. 7 p. (Comunicado Técnico, 3).

PAVLISTA, A. D. Principles of irrigation scheduling. **Potato Eyes**, Scottsbluff, v. 15, n. 2, p. 1-4, 2003.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em MG**: 5^{a} aproximação. Viçosa: SBCS, 1999. 359 p.

SANCHEZ, A. M.; ROQUE, R.; BERNAL, P. L. Evapotranspiración maxima y coeficientes bioclimaticos en dos variedades de papa (‘Desiree’ y ‘Kondor’). **Ciencia y Tecnica en la Agricultura. Riego y Drenaje**, La Habana, CU, v. 11, n. 1, p. 55-71, 1988.

SHOCK, C. C.; ELDREDGE, E. P.; FEIBERT, E. B. G.; SAUNDERS, L. D. **Management factors enhancing the feasibility of subsurface drip irrigation for potato**. Disponível em: <http://www.cropinfo.net/AnnualReports/1999/drip99factorial.htm>. Acesso em: 30 mar. 2003.

SILVA, A. C. F.; ALTHOFF, D. A.; BERTONCINI, O.; VIEIRA, S. A.; KATSURAYAMA, Y.; SOUZA, Z. S. **Sistema de produção para batata-consumo e batata-semente em Santa Catarina**. 3. ed. Florianópolis: Epagri, 2002. 123 p. (Sistema de Produção, 2).

SPILLMAN, A. Calcium-rich potatoes: it's in their genes. **Agricultural Research**, Washington, DC, v. 51, n. 3, 2003. Disponível em: <http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/mar03/gene0303.htm>. Acesso em: 15 jul. 2003.

STARK, J. C.; WRIGHT, J. L. Relationship between foliage temperature and water stress in potatoes. **American Potato Journal**, Orono, v. 62, n. 2, p. 57-68, 1985.

STYLIANOU, Y.; ORPHANOS, P. I. Irrigation of potato by sprinklers or tricklers on the basis of pan evaporation in a semi-arid region. **Potato Research**, Wageningen, v. 24, p. 159-170, 1981.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes e fertirrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Coord.). **Fertilizantes fluídos**. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 261-281.

WRIGHT, J. L.; STARK, J. C. Potato. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 859-888. (Agronomy, 30).

WRIGHT, J.; BERGSRUD, F.; REHM, G.; ROSEN, C.; MALZER, G.; MONTGOMERY, B. **Nitrogen application with irrigation water-chemigation**. 1993. Disponível em: <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6118.html>. Acesso em: 20 set. 2003.

ZAAG, D. E. van der. **Abastecimento de água na cultura da batata**. Haia: Instituto Holandês de Consulta sobre a Batata, 1982. 20 p.

Capítulo 20

Irrigação e fertirrigação na cultura da cebola

Waldir Aparecido Marouelli
Sanzio Mollica Vidigal
Édio Luiz da Costa

Introdução

A cebola (Allium cepa L.) é a terceira olerícola de maior importância econômica no Brasil. Entre os anos de 2004 a 2008, a área média colhida no Brasil foi de 61,8 mil hectares e a produção, de 1,27 milhão de toneladas de bulbos.

Os principais estados produtores são Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul, onde se concentram mais de 75% da produção nacional. Outros estados com produção significativa são Pernambuco, Bahia e Paraná. A produção em Pernambuco e Bahia está quase toda localizada nos perímetros irrigados do submédio São Francisco.

A importância social da cultura pode ser avaliada pela geração de emprego, fixando os pequenos agricultores na zona rural. No País são mais de 60 mil famílias que têm a produção de cebola como principal atividade (EPAGRI, 2000).

Com exceção dos estados da região Sul, o cultivo da cebola é quase que totalmente realizado sob irrigação. Todavia, a área irrigada nesses estados vem aumentando sistematicamente em razão do incremento de produtividade e do menor risco de produção em condições climáticas adversas. Lavouras adequadamente irrigadas no Estado de Santa Catarina apresentam até 150% de aumento de rendimento. Ademais, a qualidade dos bulbos produzidos sob irrigação é superior em tamanho e formato, de melhor aspecto visual e de melhor conservação pós-colheita (EPAGRI, 2000).

Além da irrigação, a adubação, quando realizada corretamente, seja incorporada em pré-plantio incorporado, seja via fertirrigação, é prática fundamental para o sucesso da cultura. A cultura da cebola é sensível à acidez do solo e prefere solos de textura média a grossa e terrenos com boa fertilidade.

A produtividade média nacional de cebola está em torno de 16 t ha^{-1}. Contudo, cultivos conduzidos sob irrigação apresentam média acima de 25 t ha^{-1}. Bons produtores paulistas e mineiros têm obtido rotineiramente entre 40 t ha^{-1} e 60 t ha^{-1} de bulbos. Alguns produtores da região do Alto Paranaíba, MG, utilizando sistema de alta densidade de plantio por semeadura direta e irrigação por pivô central, têm alcançado acima de 90 t ha^{-1}.

Sistema de irrigação

Vários são os sistemas que podem ser utilizados para a irrigação da cultura da cebola, cada um apresentando características próprias, com custos variáveis, vantagens e desvantagens. No Brasil, a cebola é irrigada, principalmente, pelos sistemas por aspersão, seguidos pelos sistemas por superfície. O sistema por gotejamento praticamente não tem sido utilizado para a irrigação dessa hortaliça.

Irrigação por superfície

Por não molharem a parte aérea das plantas, os sistemas por superfície pouco interferem na aplicação de agrotóxicos e minimizam doenças da parte aérea. Podem, contudo, favorecer várias doenças de solo.

No Brasil, os sistemas por superfície mais utilizados para a cebola são por inundação temporária em bacias e por sulco, principalmente por pequenos produtores da região Nordeste em razão do baixo custo (SOARES; POSSIDIO, 1995). Na irrigação por inundação, a água é aplicada por meio de pequenas bacias ou quadras, com tamanho variável conforme o tipo de solo, condições topográficas e disponibilidade de água.

O sistema tradicional por inundação temporária em bacias simples foi até alguns anos atrás o mais utilizado no Vale do São Francisco (SOARES; WANDERLEY, 1985). Por prejudicar a aeração do solo e propiciar condições de excesso de umidade no colo da planta, esse sistema favorece várias doenças de solo e reduz drasticamente a produtividade e a qualidade de bulbos, principalmente em solos de textura fina. Tais problemas são agravados pelo pequeno intervalo entre irrigações (3 a 5 dias) normalmente adotado pelos produtores (SOARES; POSSIDIO, 1995).

O sistema por inundação em bacias com camalhões, uma variação do sistema tradicional, objetiva reduzir os problemas de aeração e doenças de solo. Segundo Soares e Possidio (1995) e Soares e Wanderley (1985), o uso de camalhões possibilita um incremento de produtividade entre 100% e 150% em relação ao sistema tradicional. A desvantagem do sistema é a alta demanda de mão de obra, dada a impossibilidade de mecanização na construção dos camalhões dentro das bacias.

O sistema de irrigação por sulco, embora possa exigir sistematização do terreno, pode ser mecanizado, reduzindo o uso de mão de obra. Segundo Soares e Possidio (1995) e Soares e Wanderley (1985), a irrigação por sulco possibilita incrementos de produtividade entre 60% e 120% em relação ao sistema tradicional por inundação. Embora com rendimentos ligeiramente inferiores ao sistema por inundação em bacias com camalhões, o sistema por sulco é mais indicado para áreas sistematizadas, com solos de boa infiltração lateral (POSSIDIO, 1980).

Irrigação por aspersão

Os sistemas por aspersão são os mais utilizados no Brasil para a irrigação da cultura da cebola. Mesmo em regiões que tradicionalmente utilizam sistemas por superfície, a aspersão vem sendo adotada como uma opção viável para garantir maior produtividade e qualidade de bulbo, facilitar o manejo de irrigação, aumentar a eficiência do uso de água e reduzir o uso de mão de obra.

Entre os sistemas por aspersão, o convencional é o mais utilizado, especialmente nas regiões Sul e Sudeste. Os aspersores mais

frequentemente empregados são os de impacto, com raio de alcance de até 20 m. Nos últimos anos, alguns produtores têm optado por sistemas convencionais fixos de microaspersão. Em grandes áreas, especialmente no Estado de Minas Gerais, o sistema de pivô central vem sendo utilizado com sucesso.

Soares e Possidio (1995) relatam que a irrigação por aspersão possibilita incrementos de produtividade entre 100% e 180% em relação ao sistema tradicional por inundação temporária, utilizado no Vale do São Francisco, e de até 20% em relação ao sistema por sulco. Já Ellis et al. (1986) não observaram variação significativa de produtividade em cebola irrigada por aspersão e por sulco.

A eficiência do uso de água pela cultura, que depende da uniformidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação, do sistema de cultivo e da cultivar, nos sistemas por aspersão, pode ser até 100% maior que no sulco, até 200% maior que na inundação em bacias com camalhões e até 500% maior que na inundação em bacias simples (ELLIS et al., 1986; SOARES; POSSIDIO, 1995; SOARES; WANDERLEY, 1985).

Irrigação por gotejamento

Por não molhar as folhas das plantas, o sistema por gotejamento induz a menos ocorrência de doenças da parte aérea, além de pouco interferir nas práticas culturais.

Embora Ellis et al. (1986) não tenham constatado incrementos de produtividade de cebola em irrigação por gotejamento, comparativamente à irrigação por aspersão, Shock et al. (2000) relatam que ganhos significativos podem ser alcançados, haja vista

a irrigação e fertirrigação por gotejamento poder manter a umidade e a fertilidade do solo relativamente constantes e próximas ao ótimo requerido pela cultura, sem provocar problemas de aeração. E mais, Burt e Styles (1995) expõem que o gotejamento permite melhoria substancial da qualidade de bulbos. Ellis et al. (1986), todavia, verificaram que a eficiência no uso de água pela cebola irrigada por gotejamento foi maior que nos demais sistemas de irrigação.

Para o cultivo da cebola, os gotejadores devem ser espaçados de modo que se forme uma faixa molhada ao longo da linha de plantio. Como regra, pode-se adotar um espaçamento entre gotejadores de 10 cm a 20 cm para solos de textura grossa, de 20 cm a 30 cm para solos de textura média e de 30 cm a 50 cm para solos de textura fina (OLIVEIRA et al., 2009). Para sistema de cultivo em canteiros com largura de 100 cm a 120 cm, podem ser necessárias de uma a três linhas de gotejadores por canteiro (COSTA et al., 2002).

Apesar das muitas vantagens, o sistema por gotejamento ainda tem sido pouco utilizado para irrigação da cultura da cebola no Brasil e no mundo. A principal limitação é o alto custo do sistema, que pode chegar a quatro vezes o da aspersão.

Necessidade de água das plantas

A necessidade total de água da cultura, dependendo das condições climáticas, do ciclo da cultivar e do sistema de irrigação, varia de 350 mm a 650 mm (DELLA LIBERA, 1991; FERREIRA, 2000; VIDIGAL et al., 2001). E ela aumenta de forma proporcional ao

crescimento vegetativo das plantas, atingindo o máximo no estádio de bulbificação e reduzindo no estádio de maturação.

Embora a cebola seja altamente sensível ao deficit hídrico, necessitando de boa disponibilidade de água no solo e irrigações frequentes para seu bom rendimento, o excesso de água pode ser igualmente prejudicial, favorecendo a incidência de doenças, reduzindo o crescimento e, consequentemente, a produção e a qualidade de bulbos.

A cebola é também uma hortaliça muito sensível à salinidade da água de irrigação. O máximo rendimento esperado está associado a uma condutividade elétrica do extrato de saturação do solo de até 1,2 dS m^{-1}. Para a condutividade de 1,8 dS m^{-1}, a redução de rendimento esperada é da ordem de 10%; para a de 4,3 dS m^{-1}, de 50%, e para a de 7,5 dS m^{-1}, de 100% (ALLEN et al., 1998).

A duração do ciclo fenológico da cultura, que depende principalmente da cultivar, do clima e do sistema de plantio, varia de 100 a 170 dias, podendo, em algumas cultivares tardias plantadas na região Sul, atingir 210 dias. Em termo de necessidade de água, o período de crescimento pode ser dividido em quatro estádios: inicial, vegetativo, bulbificação e maturação.

Existem no Brasil quatro sistemas de produção de cebola: transplante de mudas, semeadura direta, bulbinho e soqueira. O transplante de mudas é o sistema mais utilizado, principalmente pelos produtores do Sul do País. Nesse caso, as mudas são produzidas em sementeiras, em que se deve ter especial cuidado com a irrigação. A semeadura direta está em expansão nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Já os sistemas do bulbinho e da soqueira são utilizados principalmente para a produção de cebola na

entressafra, em algumas regiões de São Paulo, como em Piedade (FERREIRA, 2000).

Estádio inicial

O estádio inicial compreende o período que vai da semeadura, do transplante das mudas, do plantio de bulbinhos ou do plantio de bulbos refugos (sistema de soqueira) até o estabelecimento inicial das plantas (cerca de 10% de crescimento vegetativo).

Independentemente do sistema de plantio utilizado, o solo deve ser previamente irrigado. A semeadura em solo seco, seguida de irrigação, proporciona, quase sempre, problemas de estande e crescimento desigual das plantas. Imediatamente após o transplante das mudas, deve-se realizar uma irrigação para, além de disponibilizar água para as mudas, eliminar bolsões de ar em torno das raízes (FONTES; SILVA, 2002).

Até a emergência das plântulas, brotação dos bulbinhos ou, especialmente, durante o período de pegamento de mudas no sistema de transplante, é importante o fornecimento de quantidade suficiente de água por meio de irrigações leves e frequentes, procurando manter a umidade da camada superficial do solo (0 cm a 20 cm) na faixa entre 70% e 100% da capacidade de campo.

Após a emergência das plântulas ou pegamento das mudas, deve-se reduzir ligeiramente a frequência de irrigação e aumentar a profundidade de molhamento do solo para estimular o crescimento radicular em profundidade e lateralmente.

Um dos maiores desafios da semeadura direta é obter adequada germinação das sementes e emergência das plântulas, que são

dependentes da uniformidade e da disponibilidade de água no solo. Decréscimo linear de germinação ocorre com a redução da umidade do solo a partir da capacidade de campo (FONTES; SILVA, 2002). Por sua vez, irrigações em excesso favorecem maior incidência de doenças de solo e, da mesma forma que a deficiência hídrica, comprometem o estande.

A evapotranspiração da cultura no estádio inicial depende principalmente da evaporação da água da superfície do solo, a qual é função da fração de solo umedecida superficialmente, da frequência de irrigação e da demanda evapotranspirativa da atmosfera.

Estádio vegetativo

O estádio vegetativo compreende o período entre o estabelecimento inicial das plantas e o início da bulbificação. Nesse estádio, mesmo sendo as plantas menos sensíveis à falta de água que nos estádios inicial e de bulbificação, irrigações deficitárias podem acarretar reduções significativas de produtividade, mesmo que o suprimento de água no estádio seguinte seja adequado. Dessa forma, em condições de disponibilidade limitada de água, deve-se optar por maximizar a produção por unidade de área em detrimento do aumento da área cultivada (DOORENBOS; KASSAM, 2000).

Plantas com crescimento luxuriante em virtude do fornecimento de água e nitrogênio em excesso, além de terem a duração do ciclo alongado, estão mais sujeitas ao ataque de pragas e doenças (FERREIRA, 2000).

Estádio de bulbificação

O estádio de bulbificação ou formação da produção vai do início da formação de bulbo até o início da maturação. Juntamente com o período de pegamento de mudas, são os estádios mais sensíveis ao deficit hídrico. Nesse estádio, a necessidade hídrica da cultura atinge o máximo nível de demanda (DOORENBOS; KASSAM, 2000).

A deficiência de água, particularmente durante o período de rápido crescimento de bulbo, reduz drasticamente o rendimento e o tamanho de bulbo. Já a manutenção do solo úmido, sem excessos, minimiza o crescimento das raízes e favorece o maior crescimento de bulbo (DOORENBOS; KASSAM, 2000). Irrigações e adubações nitrogenadas em excesso podem favorecer o engrossamento demasiado do pseudocaule (“pescoço-grosso”), prejudicando a conservação dos bulbos e provocando maior susceptibilidade a doenças foliares (FERREIRA, 2000; INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1987).

Estádio de maturação

Nesse estádio, compreendido entre o início da maturação dos bulbos e a colheita, há uma sensível redução da necessidade de água pelas plantas (20% a 30% menor que no estádio de bulbificação), devendo a irrigação ser gradualmente reduzida até sua completa paralisação (DOORENBOS; KASSAM, 2000; FERREIRA, 2000). O primeiro sinal de amadurecimento é o tombamento do pseudocaule (“estalo”) e em seguida o secamento da planta.

A ocorrência de clima quente e seco, associada à paralisação das irrigações em época correta, favorece a obtenção de bulbos de melhor qualidade (DOORENBOS; KASSAM, 2000). O excesso de água durante a maturação torna os bulbos aquosos e com baixa capacidade de conservação (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1987). Irrigações ou chuvas próximas da colheita reduzem o teor de matéria seca, os sólidos solúveis e a pungência dos bulbos, além de aumentar as perdas por apodrecimento durante o armazenamento e a comercialização (FERREIRA, 2000).

Manejo de irrigação

Para a obtenção de alta produtividade e bulbos de qualidade, a cultura necessita de um suprimento controlado e frequente de água durante todo o período de crescimento, particularmente durante o estádio de bulbificação. Todavia, o manejo de irrigação é importante para se evitarem excessos ou falta, que podem acarretar redução da produção e da qualidade, principalmente em razão da maior incidência de doenças.

Sementeira

Antes da semeadura, o canteiro deve ser previamente irrigado até o solo atingir entre 80% e 100% da capacidade de campo na profundidade de até 30 cm.

Da semeadura até 5 a 10 dias após a emergência, as irrigações devem ser leves e frequentes. Em geral, devem ser realizadas duas

vezes por dia, uma pela manhã e outra pela tarde; em condições de clima ameno e solo com alta capacidade de retenção de água, uma irrigação por dia pode ser suficiente. Com o crescimento das mudas, devem-se espaçar as irrigações, evitando-se excesso ou falta de água no solo. Em geral, pode-se irrigar a cada 1 ou 2 dias, sempre no período da tarde (EPAGRI, 2000; FERREIRA, 2000).

Para aclimatação e maior resistência das mudas às etapas de transporte e transplante, alguns produtores suspendem as irrigações entre 2 e 4 dias antes do transplante. Entretanto, antes do transplante, os canteiros devem ser irrigados adequadamente para facilitar o arranquio das mudas com o máximo volume de raízes, favorecendo seu pegamento (FERREIRA, 2000; INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1987).

Estádio inicial

A lâmina de água a ser aplicada antes do plantio deve ser suficiente para elevar a umidade do solo até 80% a 100% da capacidade de campo na camada de até 30 cm. Dependendo do tipo e da umidade do solo, a lâmina líquida varia entre 10 mm e 15 mm para os solos de textura grossa e entre 20 mm e 40 mm para os de texturas média e fina (MAROUELLI et al., 2008). No caso de irrigação por gotejamento, a lâmina deve ser fracionada durante 2 ou 3 dias para a melhor formação da faixa molhada.

Em termos gerais, as irrigações devem ser realizadas com turno de rega de 1 a 2 dias. Para condições de evapotranspiração de referência (ETo) acima de 6 mm dia^{-1} e solo com baixa capacidade de retenção de água (textura grossa), pode ser necessário irrigar de duas a três vezes ao dia (MAROUELLI et al., 2008; SILVA, 1986).

Estádios vegetativo, bulbificação e maturação

Existem na literatura nacional e internacional informações que permitem utilizar diferentes critérios para a determinação do momento correto de se irrigar e da quantidade de água necessária a ser aplicada por irrigação na cultura da cebola.

Para maximizar o rendimento de bulbos, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão de água no solo atingir entre 7 kPa e 15 kPa para solos arenosos e entre 20 kPa e 40 kPa para solos de texturas média e fina (ABREU et al., 1980; MAROUELLI et al., 1990; COELHO et al., 1996). Os menores valores devem ser utilizados como limite durante o estádio de bulbificação. Para irrigação por gotejamento, deve-se considerar a faixa de tensão entre 7 kPa e 15 kPa (SHOCK et al., 2000). A avaliação da tensão deve ser realizada a 50% da profundidade efetiva do sistema radicular, com os sensores de umidade instalados entre duas plantas ao longo da linha de plantio.

O fator de disponibilidade de água no solo (f) recomendado para a cultura da cebola irrigada por aspersão ou por sulco varia entre 0,30 e 0,40. Depende, todavia, da evapotranspiração da cultura e do tipo de solo. Para solos de textura fina e ETo acima de 6 mm dia^{-1}, usam-se valores entre 0,25 e 0,30; para solos de textura grossa e ETo abaixo de 4 mm dia^{-1}, valores entre 0,45 e 0,50 (ALLEN et al., 1998; FERREIRA, 2000; MAROUELLI et al., 2008). Para irrigação por gotejamento, deve-se considerar um fator de disponibilidade entre 0,15 e 0,25 (OLIVEIRA et al., 2009).

A determinação do momento de irrigar com base em observações visuais de sintomas de deficiência de água na planta, além de difícil de determinar no campo, pode reduzir significativamente a produtividade de bulbos (OLIVEIRA et al., 2009). Segundo Santos (1997), irrigações realizadas somente após a identificação visual da ocorrência de deficit hídrico moderado, caracterizado pela perda de turgidez e tonalidades de verde mais escuro das folhas, pode acarretar redução de produtividade da ordem de 25%. Já, quando as irrigações são realizadas apenas quando as plantas apresentam sintomas visuais de deficit hídrico severo, ou seja, murchamento das extremidades foliares e predominância de coloração verde-acinzentada, a queda de produtividade pode ultrapassar a 60%, além de comprometer a qualidade dos bulbos.

A frequência de irrigação por aspersão, para solos de textura média e condições climáticas moderadas (ETo entre 3 mm dia^{-1} e 5 mm dia^{-1}), varia entre 3 e 5 dias. Todavia, para ETo acima de 6 mm dia^{-1} e/ou solos de textura grossa, pode ser necessário irrigar a cada 1 ou 2 dias (FERREIRA, 2000; MAROUELLI et al., 2008).

Os valores de coeficiente de cultura (Kc), necessários ao cálculo da evapotranspiração da cultura, nos diferentes estádios fenológicos da cebola, são apresentados na Tabela 1. Nota-se que os valores são dependentes do sistema de irrigação, das condições de umidade e velocidade do vento e da frequência de irrigação nos estádios inicial e vegetativo. Ademais, não requerem ser multiplicados por coeficientes, visando ao seu ajuste para condições de restrições de umidade do solo. Isso não impede, todavia, a necessidade de ajustes em razão de condições específicas de cultivo.

Tabela 1. Coeficiente de cultura (*Kc*)[1] nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da cebola, conforme o sistema de irrigação.

Estádio	Sistema de irrigação	
	Sulco/Aspersão	Gotejamento
Inicial	0,55–0,70[2]	0,70–0,80
Vegetativo	0,75–0,85	0,75–0,85
Bulbificação	0,95–1,10	0,90–1,00
Maturação	0,70–0,80	0,60–0,70

[1] Usar o menor valor para clima úmido (UR > 70%) e vento fraco (V < 5 m s^{-1}).
[2] Para turno de rega (TR) de 1 dia, usar Kc entre 1,00 e 1,10; TR de 2 dias, usar Kc entre 0,80 e 0,90.
Fonte: adaptado de Allen et al. (1998) e Santos (1997).

Paralisação da irrigação

As irrigações devem ser suspensas quando os bulbos apresentarem máximo desenvolvimento, o que, dependendo da cultivar, do tipo de solo e do clima, ocorre entre duas e três semanas antes da colheita. Essa prática evita a entrada de água no pseudocaule da cebola e acelera a dessecação da parte aérea e a maturação dos bulbos, melhorando suas condições de cura e conservação (EPAGRI, 2000; INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1987; MAROUELLI et al., 2008). A interrupção das irrigações ainda previne que as raízes recomecem a crescer (DOORENBOS; KASSAM, 2000).

Alguns produtores determinam o momento de paralisar as irrigações apertando o pseudocaule (“pescoço”) da planta entre os dedos, estabelecendo o critério de 50% das plantas com “pescoço” macio como limite (ARAÚJO et al., 1997).

No caso de irrigação por gotejamento, as irrigações devem ser realizadas até mais próximo à colheita, pois o volume de água armazenado no solo é de 20% a 40% menor que nos demais sistemas de irrigação.

Associação da irrigação com doenças

Embora a água tenha grande influência na incidência e severidade de doenças fúngicas e bacterianas em uma lavoura, a maioria dos agricultores irriga de forma inadequada, geralmente em excesso.

Algumas das principais doenças de solo em áreas de cebola irrigadas em excesso e/ou de drenagem inadequada são: tombamento de muda (*Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp., *Fusarium* spp.), antracnose foliar (*Colletotrichum gloeosporioides*), podridão-basal (*Fusarium oxysporum*) e podridão-mole (*Erwinia carotovora*). A antracnose foliar ou mal-de-sete-voltas é o principal problema fitossanitário da cebola no Brasil, ocorrendo desde a sementeira ou viveiro até o armazenamento. A podridão-mole e a podridão-basal (fusariose) também podem causar grandes perdas tanto no campo como durante o armazenamento do bulbo. Já o tombamento de muda (*damping off*) pode ocasionar baixa densidade de plantas no sistema de semeadura direta ou baixo rendimento de mudas (FERREIRA, 2000; MAFFIA et al., 2002).

Entre os sistemas de irrigação superficial, o sistema por inundação temporária em bacias ou quadras simples é o que mais favorece a incidência de doenças de solo na cultura da cebola, como a

antracnose foliar, considerada um dos principais problemas da cebola em áreas que utilizam esse sistema de irrigação (SOARES; POSSIDIO, 1995).

Mesmo nos sistemas de irrigação por aspersão, deve-se evitar a formação de pontos de encharcamento, os quais frequentemente se transformam em focos de disseminação e multiplicação de doenças de solo. Entre as principais causas de encharcamento, têm-se: vazamentos e desuniformidade de distribuição de água, drenagem deficiente, depressões no solo e áreas compactadas por máquinas e implementos. A água de irrigação também pode servir de veículo na disseminação de várias doenças. Assim, o conhecimento da origem e da qualidade da água é importante, pois o escorrimento superficial da água de chuva ou de irrigação por um campo infectado pode contaminar fontes de água superficiais ou subterrâneas.

A irrigação por aspersão, especialmente quando em regime de alta frequência, favorece condições de elevada umidade na folhagem, podendo aumentar a incidência de doenças da parte aérea, como: mancha-púrpura (*Alternaria porri*), queima das pontas ou mofo-cinzento (*Botrytis* spp.), podridão-aquosa (*Burkholderia gladioli* pv. *allicola*) e míldio (*Peronospora destructor*). As doenças da parte aérea são favorecidas por injúrias nas folhas – seja mecânica, seja causada por tripes (*Thrips tabaci*) –, que na presença de umidade funcionam como “porta de entrada” para fungos e bactérias (FERREIRA, 2000; MAFFIA et al., 2002).

Exigências nutricionais

O cultivo da cebola em solo de baixa fertilidade, o desconhecimento da exigência nutricional da planta e o manejo inadequado da adubação afetam de forma negativa tanto o rendimento quanto a qualidade e a conservação de bulbos de cebola.

A absorção e a eficiência do uso dos nutrientes pelas plantas são afetadas pelas condições climáticas e, principalmente, pela disponibilidade de água no solo. Por exemplo, irrigações deficitárias minimizam a absorção dos nutrientes pelas raízes, enquanto irrigações em excesso favorecem a lixiviação de alguns nutrientes, como o nitrogênio, ou até mesmo a absorção em demasia de alguns elementos. Assim, o manejo correto da irrigação, combinado com o fornecimento de nutrientes na quantidade, forma e momento exigidos pelas plantas, é de grande importância para o sucesso da cultura da cebola.

A ordem decrescente de extração de macronutrientes pela cultura da cebola é K, N, S, P, Ca e Mg. Trabalhos realizados por vários autores permitem estimar uma relação média de extração de 1,0:0,2:1,1 para N:P:K (HAAG et al., 1970; JANICK, 1968; ZINK, 1966). No entanto, podem ocorrer diferenças nas quantidades extraídas em razão da cultivar, dos teores de nutrientes no solo, do manejo adotado, etc. Para a cultivar Alfa Tropical, cultivada no norte de Minas Gerais, por exemplo, o Ca foi o terceiro elemento mais absorvido pelas plantas, seguido do S, P e Mg (VIDIGAL et al., 2002).

Em termos gerais, a curva de absorção de nutrientes segue o padrão de crescimento da planta (MAGALHÃES, 1993; VIDIGAL et al., 2002). Tanto quanto as doses de nutrientes requeridas pela cultura, o conhecimento da marcha de absorção pelas plantas é

uma informação valiosa para orientar, de forma adequada, programas de adubação, principalmente quando a prática da fertirrigação é adotada. Na Tabela 2, observa- se a dinâmica de absorção de macronutrientes pela cultivar Alfa Tropical em estudo realizado no perímetro irrigado do Projeto Jaíba, MG, região onde a fertirrigação da cultura da cebola tem sido recomendada pela assistência técnica local (MELO; SOUZA, 1997). A diferença na extração de nutrientes dá-se em razão do sistema de produção adotado, do nível de fertilidade do solo, da população de plantas e do ciclo da cultura.

Tabela 2. Extração de macronutrientes pela cultura da cebola (cv. Alfa Tropical) nos sistemas de transplante de mudas e semeadura direta, na região norte de Minas Gerais.

Idade (dias)		Quantidade (kg ha^{-1})					
Transplante de mudas[1]							
Dps[2]	Dpt[2]	N	P	K	Ca	Mg	S
59	14	5,8	1,6	4,7	5,1	0,9	1,7
73	28	8,9	0,2	16,8	2,1	0,1	3,0
87	42	48,6	9,4	58,2	36,2	4,5	11,7
101	56	56,5	11,2	55,7	38,6	5,7	13,2
115	70	32,6	8,3	26,5	21,7	3,6	7,3
130	85	0,9	2,3	0,5	1,3	0,2	0,1
Total		**153,3**	**33,0**	**162,4**	**105,0**	**15,0**	**37,0**
Semeadura direta[3]							
Dps[2]		N	P	K	Ca	Mg	S
45		3,7	0,7	12,2	3,0	0,4	0,4
59		44,9	5,2	43,9	13,5	4,6	6,3
73		44,8	8,8	62,7	26,2	4,7	7,0
87		44,9	10,5	59,0	25,1	5,1	18,4
102		47,9	11,8	45,5	17,2	6,2	38,9
Total		**186,2**	**37,0**	**223,3**	**85,0**	**21,0**	**71,0**

(1) População de 700 mil plantas ha^{-1} e produtividade de 26 t ha^{-1}.
(2) Dps: dias após a semeadura; Dpt: dias após o transplante.
(3) População de 950 mil plantas ha^{-1} e produtividade de 30 t ha^{-1}.
Fonte: Vidigal (2000).

Para cultivares precoces, os nutrientes são extraídos em quantidades reduzidas até 30 dias após o transplante, aumentando substancialmente até 90 dias (HAAG et al., 1970). As quantidades totais extraídas ao longo do ciclo fenológico da cultivar Baia Periforme Precoce são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Extração de macronutrientes pela cultura da cebola (cv. Baia Periforme Precoce) durante o ciclo fenológico, para uma produtividade de 40 t ha^{-1} de bulbo.

Idade (dias)		Quantidade acumulada (kg ha^{-1})					
Dps(1)	Dpt(1)	N	P	K	Ca	Mg	S
70	0	0,8	0,2	1,5	0,3	0,1	0,2
85	15	2,6	0,2	3,9	0,4	0,3	0,4
100	30	11,6	1,1	16,9	1,4	1,0	1,1
115	45	26,5	2,3	39,1	3,1	2,4	4,7
130	60	45,4	4,4	60,0	4,9	4,2	7,2
145	75	60,5	6,3	86,5	6,7	6,5	10,5
160	90	119,5	14,7	173,1	18,6	16,5	28,3
175	105	142,1	18,1	196,4	16,2	14,7	34,4
190	120	144,8	23,9	192,9	17,3	19,4	36,8

(1) Dps: dias após a semeadura; Dpt: dias após o transplante.
Fonte: adaptado de Haag et al. (1970).

A cebola é sensível à acidez do solo (pH ideal entre 6,0 e 6,5), sendo fundamental que o calcário seja aplicado para elevar a saturação por bases do solo a 70% (VIDIGAL et al., 2002). Para o Estado de São Paulo, recomenda-se saturação por bases de 80% e teor de magnésio de, no mínimo, 9 $mmol_c$ dm^{-3} (TRANI et al., 1996).

Para a boa formação e conservação pós-colheita de bulbos, é importante a aplicação da dose correta de potássio e a manutenção de um balanço adequado com o nitrogênio. Enquanto o nitrogênio em excesso causa baixa conservação pós- colheita e provoca maior susceptibilidade a doenças foliares, o potássio aumenta a resistência das plantas a várias doenças foliares. Já o boro reduz a incidência de podridões durante o armazenamento (FERREIRA, 2000).

Bulbos de cebola de maior pungência apresentam maiores teores de enxofre (FERREIRA, 2000). Adicionalmente, a deficiência de enxofre pode reduzir a produtividade de bulbos. Assim, para garantir o suprimento às plantas, devem-se aplicar entre 30 kg ha^{-1} e 50 kg ha^{-1} de enxofre (TRANI et al., 1996). Vidigal et al. (2002) recomendam o uso de gesso associado à fonte de potássio ou combinações de sulfato de amônio e superfosfato triplo ou de ureia e superfosfato simples.

A cultura da cebola é pouco sensível à toxicidade de amônio (NH_4^+) em razão do mecanismo de acúmulo do excesso nas folhas modificadas que constituem o bulbo (MAGALHÃES, 1993). Todavia, em decorrência da alta capacidade de acidificação do solo pela ureia e, principalmente, pelo sulfato de amônio e da alta susceptibilidade à lixiviação do nitrato, a fração de nitrogênio na forma amoniacal ou amídica (ureia) deve ser semelhante à da forma nítrica, especialmente em solos com pH abaixo de 5,5 (BURT et al., 1995).

A adição de cálcio, juntamente com fertilizantes contendo amônio, aumenta o transporte de nitrogênio e metabólitos das folhas para o bulbo. A presença de maior teor de nitrogênio e a integridade da

plasmalema, mantida pela presença do Ca, fazem que haja maior turgor e retenção de nutrientes nas células, que resultam em maior crescimento das plantas. Como efeito prático, a necessidade de nitrogênio para maximizar a produção de cebola é reduzida quando ureia/cloreto de cálcio são aplicados na razão molar de 0,18 (VIDIGAL et al., 2002).

Recomendação de adubação

A dose de nitrogênio é normalmente recomendada a partir da produtividade esperada e não com base em análise de solo. Como regra, pode-se considerar que, para cada tonelada de bulbo produzida, devam ser aplicados em média de 3,2 kg de N (HAAG et al., 1970; JANICK, 1968; ZINK, 1966). Por exemplo, se a produtividade esperada é de 50 t ha^{-1}, a dose total de nitrogênio a ser aplicada será de 160 kg ha^{-1}. Por sua vez, a matéria orgânica existente no solo pode conter quantidades expressivas de nitrogênio, com teores acima de 25 g dm^{-3}.

Existem, todavia, recomendações de dose de nitrogênio para condições regionais. Para Minas Gerais, Fontes (1999) recomenda a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N. Para a região norte de Minas Gerais, Vidigal et al. (2001) indicam 200 kg ha^{-1}. Para São Paulo, Trani et al. (1996) recomendam de 60 kg ha^{-1} a 90 kg ha^{-1}. Para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (1995) sugere 95 kg ha^{-1} para solos com teor de matéria orgânica de até 25 g dm^{-3}; 75 kg ha^{-1} para solos com teor de matéria orgânica entre 26 g dm^{-3} e 50 g dm^{-3}; e

55 kg ha^{-1} para solos com teor de matéria orgânica acima de 50 g dm^{-3}. Para a região produtora do Vale do São Francisco, Costa et al. (1998) recomendam 135 kg ha^{-1} de N. A essas recomendações, não está contabilizado o nitrogênio fornecido via adubação orgânica, também recomendada pelos autores.

A dose total de potássio e fósforo deve ser determinada conforme a análise química do solo e a produtividade esperada de bulbos. Na Tabela 4, são apresentadas recomendações de adubação para o Estado de Minas Gerais, para uma produtividade de 25 t ha^{-1}. Se a produtividade esperada for acima de 25 t ha^{-1}, deve-se aplicar uma quantidade adicional de potássio e fósforo para suprir a maior extração de nutrientes pelas plantas. A partir de resultados obtidos por Haag et al. (1970), e Janick (1968) e Zink (1966), sugere-se aplicar 4,2 kg de K_2O e 1,0 kg de P_2O_5 para cada tonelada de bulbo produzido acima de 25 t ha^{-1}. Para o Estado de São Paulo, apresentam-se recomendações de micronutrientes na Tabela 5. Recomendações de potássio e fósforo para outras regiões, com base na análise do solo, são apresentadas nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 4. Sugestão de adubação mineral com fósforo e potássio para a produção(1) de cebola no Estado de Minas Gerais.

Fósforo				Potássio	
Textura do solo					
Fina	Média	Grossa	Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	K(2) no solo (mg dm^{-3})	Dose de K_2O (kg ha^{-1})
P[1] no solo (mg dm^{-3})					
≤ 5,4	≤ 10,0	≤ 20,0	300	< 50	180
5,5–8,0	10,1–16,0	20,1–30,0	220	51–90	120
8,1–12,0	16,1–24,0	30,1–45,0	100	91–140	50
> 12,0	> 24,0	> 45,0	50	> 140	0

(1) Produtividade esperada de 25 t ha^{-1}.

(2) Método Mehlich-1.
Fonte: adaptado de Fontes (1999).

Tabela 5. Sugestão de adubação mineral com fósforo, potássio e micronutrientes para a produção(1) de cebola no Estado de São Paulo.

P resina (mg dm^{-3})			K trocável ($mmol_c$ dm^{-3})		
≤ 25	26–60	> 60	≤ 1,5	1,6–3,0	> 3,0
Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})			Dose de K_2O (kg ha^{-1})		
300	150	90	150	120	60

B (mg dm^{-3})			Cu (mg dm^{-3})			Zn (mg dm^{-3})		
≤ 0,2	0,3–0,6	> 0,6	≤ 0,2	0,3–1,0	> 1,0	≤ 0,5	0,6–1,2	> 1,2
Dose de B (kg ha^{-1})			Dose de Cu (kg ha^{-1})			Dose de Zn (kg ha^{-1})		
2	1	0	4	2	0	5	3	0

(1) Produtividade esperada de 25 t ha^{-1}.
Fonte: adaptado de Trani et al. (1996).

Tabela 6. Sugestão de adubação mineral com fósforo e potássio para a produção(1) de cebola em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul.

Fósforo				Potássio	
Textura do solo			Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	K no solo (mg dm^{-3})	Dose de K_2O (kg ha^{-1})
Fina	Média	Grossa			
P no solo (mg dm^{-3})					
≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 4,0	250	≤ 50	180
1,1–4,0	2,1–9,0	4,1–16,0	180	51–90	120
4,1–8,0	9,1–18,0	16,1–30,0	100	91–140	50
> 8,0	> 18,0	> 30,0	50	> 140	20

(1) Produtividade esperada de 25 t ha^{-1}.
Fonte: adaptado da Epagri (2000).

Tabela 7. Sugestão de adubação mineral com fósforo e potássio para a produção[1] de cebola no Vale do São Francisco (Petrolina/Juazeiro).

Fósforo		Potássio	
P no solo (mg dm^{-3})	Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	K no solo ($cmol_c$ dm^{-3})	Dose de K_2O (kg ha^{-1})
< 6	180	< 0,08	180
6–10	135	0,08–0,15	135
11–20	90	0,16–0,25	90
> 20	45	> 0,25	45

[1] Produtividade esperada de 25 t ha^{-1}.
Fonte: Costa et al. (1998).

No cultivo em pequenas áreas, é comum o uso de adubação orgânica. Em geral, aplicam-se entre 15 t ha^{-1} e 25 t ha^{-1} de esterco de curral bem curtido cerca de 15 dias antes do plantio (FERREIRA, 2000; FONTES, 1999; TRANI et al., 1996). Dependendo da quantidade aplicada, do teor de matéria seca e da qualidade do esterco utilizado, a quantidade de N, P_2O_5 e K_2O pode variar entre 50 kg ha^{-1} e 130 kg ha^{-1}.

Além de melhorar a fertilidade, a adubação orgânica atua de forma benéfica sobre as condições físicas e biológicas do solo (EPAGRI, 2000). Todavia, para grandes áreas a aplicação de esterco é inviável, sendo toda a nutrição das plantas realizada por meio da adubação química. Muitos produtores, no entanto, utilizam o sistema de rotação de cultura e a consequente incorporação de resíduos vegetais.

Manejo de fertirrigação

Por razões econômicas e práticas, nem todos os nutrientes necessitam ser parcelados ao longo do ciclo fenológico da cultura. Em geral, somente o nitrogênio e o potássio são aplicados em cobertura. Em razão do baixo risco de lixiviação e da convencional não resposta da cultura, os demais macronutrientes e micronutrientes são rotineiramente aplicados em pré-plantio.

A frequência da fertilização depende, entre outros fatores, do método de aplicação, do fertilizante e do solo. Quando a aplicação é feita de forma convencional, manual ou mecanicamente, realizam-se em geral duas aplicações de cobertura (TRANI et al., 1996), muito embora Batal et al. (1994) tenham verificado que o maior número de parcelamento proporcionou incremento de produtividade.

Para fertilização convencional, a recomendação geral de vários autores é de que um terço do nitrogênio seja aplicado ao plantio e o restante parcelado aos 20 e 45 dias após o transplante para cultivares precoces, aos 35 e 55 dias para cultivares de ciclo médio e aos 45 e 90 dias para cultivares tardias (EPAGRI, 2000; TRANI et al., 1996; VIDIGAL et al., 2001). Para o potássio, aplicar entre 50% e 75% da dose total em pré-plantio, entre 10% e 25% aos 30, 40 ou 50 dias e entre 15% e 25% aos 55, 65 ou 100 dias após o transplante para cultivares precoces, de ciclo médio e tardias, respectivamente. No sistema de bulbinho, Trani et al. (1996) recomendam aplicar 40% em pré-plantio, 20% aos 5 dias e 40% aos 25 dias após a brotação (ciclo de 80 dias). Para a produção de bulbinhos, devem-se aplicar no máximo 10 kg ha^{-1} de N em pré-plantio.

Na fertilização via água de irrigação, as adubações de cobertura podem ser mais frequentes que no sistema convencional, a cada

duas a quatro semanas no caso de fertirrigação por aspersão (COELHO, 1994). Para solos arenosos na região norte de Minas Gerais, no entanto, a assistência técnica local (MELO; SOUZA, 1997) recomenda que a fertirrigação por aspersão seja realizada em regime de alta frequência (média de 2 dias). Para o sistema por gotejamento, a frequência varia normalmente entre uma e três vezes por semana, embora alguns produtores façam aplicações diárias (HOCHMUTH; SMAJSTRLA, 1997).

Fertilizantes com maior potencial de lixiviação, como os nitrogenados, devem ser aplicados mais frequentemente que aqueles com menor potencial, como os potássicos. Todavia, para não aumentar o uso de mão de obra e em razão de as principais fontes de nitrogênio e potássio poderem ser misturadas e aplicadas simultaneamente, geralmente adota-se a mesma frequência. Em virtude da maior capacidade de troca, a frequência de fertirrigação em solos de texturas média e fina pode ser menor que a adotada para solos de textura grossa.

Independentemente do método de fertilização, devem-se evitar aplicações de nitrogênio próximo do final do ciclo da cultura, visto que retarda o amadurecimento dos bulbos e maximiza a produção de bulbos com “pescoço-grosso” (VIDIGAL et al., 2002).

Recomendações para o parcelamento de nitrogênio e potássio via fertirrigação, ao longo do ciclo fenológico da cultura da cebola, são apresentadas na Tabela 8. A quantidade a ser aplicada em cada período é determinada a partir da dose total recomendada de cada nutriente.

Tabela 8. Sugestão para o parcelamento de nitrogênio e potássio via fertirrigação por aspersão e gotejamento, ao longo do ciclo fenológico da cultura da cebola.

Irrigação por aspersão[1]										
Nutriente	Período relativo ao ciclo da cultura (%)[2]									
	Plantio[3]	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	Quantidade relativa de nutriente (%)[4]									
N	20	5	10	10	15	15	15	10	0	0
K_2O	30	5	5	5	5	10	20	15	5	0

Irrigação por gotejamento										
Nutriente	Período relativo ao ciclo da cultura (%)[2]									
	Plantio[5]	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	Quantidade relativa de nutriente (%)[4]									
N	10	5	5	5	5	10	25	25	5	5
K_2O	15	1	2	2	5	10	25	25	10	5

[1] Somente aplicar via água para sistemas por aspersão com eficiência acima de 70%.
[2] Porcentagem do ciclo total da cultura (ex.: 30% equivale ao 36º dia de uma cultivar com ciclo de 120 dias).
[3] Aplicar de forma convencional em pré-plantio 20% do N e 30% do K total recomendado.
[4] Porcentagem de nutriente a ser aplicada em cada período em relação à quantidade total.
[5] Aplicar em pré-plantio 10% do N e 15% do K total recomendado.
Fonte: adaptado de Haag et al. (1970) e Hochmuth e Smajstrla (1997).

Exemplo: Cálculo da quantidade de nutrientes para adubação de pré-plantio, via fertirrigação, para a seguinte situação:

- Ciclo da cultura: 120 dias.
- Localidade: São Paulo.
- Produtividade esperada: 50 t ha^{-1}.
- Sistema de irrigação: aspersão.
- Frequência de fertirrigação: 15 dias.
- Análise de solo: pH de 6,0; V de 85%; 10 $mmol_c$ dm^{-3} de Mg; 2,2 $mmol_c$ dm^{-3} de K; 70 mg dm^{-3} de P; 0,5 mg dm^{-3} de B; 1,4 mg dm^{-3} de Cu e 1,0 mg dm^{-3} de Zn.

Solução:

- Pela análise de solo (pH = 6,0; V = 85%; Mg = 10 $mmol_c$ dm^{-3}), não se faz necessária a aplicação de calcário.
- A dose de N, computada conforme a previsão de produtividade, é de 160 kg ha^{-1} (3,2 kg t^{-1} x 50 t ha^{-1}).
- Pela Tabela 5, para um solo com 2,2 $mmol_c$ dm^{-3} de K e 70 mg dm^{-3} de P, obtém-se a dose parcial de 120 kg ha^{-1} de K_2O e 90 kg ha^{-1} de P_2O_5. A dose total de K_2O, visando à obtenção de uma produtividade de 50 t ha^{-1}, será de 225 kg ha^{-1} [120 kg ha^{-1} + 4,2 kg t^{-1} x (50 t ha^{-1} – 25 t ha^{-1})] e a de P_2O_5 será de 115 kg ha^{-1} [90 kg ha^{-1} + 1,0 kg t^{-1} x (50 t ha^{-1} – 25 t ha^{-1})].
- Tomando como base a recomendação da Tabela 8, deve-se ajustar o esquema de parcelamento em razão da duração do ciclo da cultura e da frequência de fertirrigação. A quantidade relativa de nutrientes a ser aplicada ao longo do ciclo de 120 dias da cultura é dada na Tabela 9.
- A quantidade de nutrientes a ser aplicada a cada duas semanas (Tabela 9) é calculada multiplicando-se a dose total pela quantidade relativa ajustada para cada época de fertilização.
- A dose de micronutrientes a ser aplicada em pré-plantio, determinada a partir da análise de solo (B = 0,5 mg dm^{-3}; Cu = 1,4 mg dm^{-3}; Zn = 1,0 mg dm^{-3}) e da Tabela 5, é de 1,0 kg ha^{-1} de B e 3,0 kg ha^{-1} de Zn, não sendo necessário o uso de cobre.

Tabela 9. Quantidades de nitrogênio e potássio a serem aplicadas em pré-plantio, via fertirrigação, à cultura da cebola, referentes à solução do exemplo descrito.

Nutriente	Época da fertirrigação

	(dias após o plantio)						
	Plantio[1]	15	30	45	60	75	90
	Quantidade relativa de nutriente (%)[2]						
N	20	5	15	15	15	15	15
K_2O	30	5	5	10	10	20	20
	Quantidade de nutriente (kg ha^{-1})						
N	32,00	8,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
K_2O	67,50	11,25	11,25	22,50	22,50	45,00	45,00

[1] Quantidade de nutriente a ser aplicada em pré-plantio de forma convencional.
[2] Porcentagem de nutriente a ser aplicada em cada período em relação à quantidade total (ajustada a partir da Tabela 8).

O processo de fertirrigação pressupõe quantidades e frequências de aplicação de nutrientes adequadas, visando maximizar a produtividade. No entanto, pode-se deparar com sintomas de deficiências ou de toxicidade nas plantas.

O ciclo relativamente curto da cebola não permite larga margem para a recuperação de danos causados por práticas inadequadas de fertilização. Mesmo assim, é possível detectar problemas a tempo de evitar maiores prejuízos ao rendimento da cultura. Indiretamente, o estado nutricional das plantas pode ser avaliado por meio de sua aparência visual. Os métodos diretos são aqueles em que a concentração de certo nutriente é estimada por meio da análise química da matéria seca ou da seiva da planta.

Níveis adequados de nutrientes nas folhas de plantas de cebola variam entre 20 g kg^{-1} e 40 g kg^{-1} (massa seca) para N e K; entre 2 g kg^{-1} e 4 g kg^{-1} para P; entre 3 g kg^{-1} e 4 g kg^{-1} para Ca, Mg e S; entre 10 mg kg^{-1} e 50 mg kg^{-1} para Zn; entre 50 mg kg^{-1} e 300 mg kg^{-1} para Mn e Fe; e entre 5 mg kg^{-1} e 10 mg kg^{-1} para Cu e

B (BURT et al., 1995; MARTINEZ et al., 1999; VIDIGAL et al., 2002). As amostras para análise foliar devem ser coletadas durante o ciclo médio de desenvolvimento da cultura, em pelo menos 40 plantas por talhão, de forma aleatória, sempre retirando as folhas mais altas e secas entre 65 °C e 70 °C.

Referências

ABREU, T. A. S.; MILLAR, A. A.; CHOUDHURY, E. N.; CHOUDHURY, M. M. Análise da produção de cebola sob diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, n. 2, p. 233-236, 1980.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 56).

ARAÚJO, M. T.; PEREIRA, L. S.; SILVA, H. R.; MASCARENHAS, M. H. T. **Cultivo da cebola**. Brasília, DF: Epamig: Embrapa Hortaliças: Codevasf: Projeto Jaíba, 1997. 1 Folder.

BATAL, K. M.; BONDARI, K.; GRANBERRY, D. M.; MULLINIX, B. G. Effects of source, rate, and frequency of N application on yield, marketable grates and rot incidence of sweet onion (Allium cepa L. cv. Granex-33). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 69, n. 6, p. 1043-1051, 1994.

BURT, C. M.; O´CONOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1995. 295 p.

BURT, C. M.; STYLES, S. W. **Drip and microirrigation for trees, vines, and row crops**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1995. 295 p.

COELHO, A. M. Fertigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 210-227.

COELHO, E. F.; SOUZA, V. A. B.; CONCEIÇÃO, M. A. F. Comportamento da cultura da cebola em três regimes de irrigação e cinco espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 8, p. 585-591, 1996.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo

Fundo, 1995. 223 p.

COSTA, E. L.; MAROUELLI, W. A.; CAMBOIM NETO, L. F.; SILVA, W. L. C. Irrigação da cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 57-66, 2002.

COSTA, N. D.; FARIA, C. M. B.; PEREIRA, J. R.; CANDEIA, J. A. Cebola (irrigada): *Allium cepa*. In: CAVALCANTE, F. J. A. (Coord.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**: 2ª aproximação. Recife: IPA, 1998. p. 127.

DELLA LIBERA, L. F.; NISHIMURA, T.; CASTELLANE, P. D. Relação entre a evapotranspiração máxima da cebola (*Allium cepa* L.) e a evapotranspiração de referência. **Científica**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 257-268, 1991.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 2000. 221 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

ELLIS, J. E.; KRUSE, E. G.; MCSAY, A. E.; NEALE, C. M. U.; HORN, R. A. A comparison of five irrigation methods on onions. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 6, p. 1349-1351, 1986.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Sistema de produção para cebola**: Santa Catarina: 3ª revisão. Florianópolis, 2000. 91 p. (Epagri. Sistemas de Produção, 16).

FERREIRA, M. D. **Cultura da cebola**: recomendações técnicas. Campinas: ASGROW, 2000. 36 p.

FONTES, P. C. R. Cebola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 184.

FONTES, P. C. R.; SILVA, D. J. H. Métodos de produção de cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 28-35, 2002.

HAAG, H. P.; HOME, P.; KIMOTO, T. Nutrição mineral de hortaliças: VII – absorção de nutrientes pela cultura da cebola. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, São Paulo, v. 27, p. 143-153, 1970.

HOCHMUTH, G. J.; SMAJSTRLA, A. G. **Fertilizer application and management for micro (drip)-irrigated vegetables**. Gainesville: University of Florida: Cooperative Extension Service: Institute of Food and Agricultural Sciences, 1997. 33 p. (University of Florida. Circular, 1181).

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Cultura da cebola**. Campinas, 1987. 28 p.

JANICK, J. **A ciência da horticultura**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1968. 161 p.

MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G.; PEDROSA, R. A. Doenças da cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 75-87, 2002.

MAGALHAES, J. R. Nutrição e adubação da cebola. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃOO DE HORTALIÇAS, 1990, Jaboticabal. **Anais**... Piracicaba: Potafos, 1993. p. 381-399.

MAROUELLI, W.A.; OLIVEIRA, V.R.; TOSTA, A.L.; BARRETO, Y.C.; MACEDO, T.C. **Avaliação de genótipos de cebola submetidos a diferentes regimes hídricos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 40., 2011, Cuiabá, MT. Geração de tecnologias inovadoras e o desenvolvimento do Cerrado Brasileiro: anais. Jaboticabal: SBEA, 2011. CD-Rom.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2008. 150 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5^{a} aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 143-168.

MELO, T. P.; SOUZA, A. L. **Esquema de adubação de cebola**. Jaíba: Plena, 1997. 3 p.

OLIVEIRA, V.R.; MAROUELLI, W.A.; MADEIRA, N.R. Cebola. In: MONTEIRO, J.E.B.A., ed. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INIMET, 2009. p.153-165.

POSSIDIO, E. L. **Comparação de métodos de irrigação em duas cultivares de cebola (*Allium cepa* L.) no Vale do Sub Médio São Francisco**. 1980. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANTOS, I. A. **Alternativas de manejo da irrigação suplementar na cultura da cebola (*Allium cepa* L.)**. 1997. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B. G.; SAUNDERS, L. D. Irrigation criteria for drip-irrigated onions. **HortScience**, Alexandria, v. 35, n. 1, p. 63-66, 2000.

SILVA, J. A. **Efeito da umidade no desenvolvimento de mudas de cebola (*Allium cepa* L.)**. 1986. 64 f. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOARES, J. M.; POSSIDIO, E. L. **Comparação de métodos de irrigação em cultivares de cebola no Vale do Submedio São Francisco**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1995. 23 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 51).

SOARES, J. M.; WANDERLEY, L. J. G. **Influencia de métodos de irrigação sobre a produção de cebola no Submedio São Francisco**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985. 28 p. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 23).

TRANI, P. E.; TAVARES, M.; SIQUEIRA, W. J. Cebola: sistema de mudas; sistema de bulbinhos. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico: Fundação IAC, 1996. p. 176-177.

VIDIGAL, S. M. **Adubação nitrogenada de cebola irrigada cultivada no verão**: Projeto Jaiba, Norte de Minas Gerais. 2000. 1136 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VIDIGAL, S. M.; COSTA, E. L.; MENDONÇA, J. L. **Cultivo da cebola na Região norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Epamig, 2001. 35 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 62).

VIDIGAL, S. M.; PEREIRA, P. R. G.; PACHECO, D. D. Nutrição mineral e adubação da cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 36-50, 2002.

ZINK, F. M. Studies on the growth rate and nutrient absorption of onion. **Hilgardia**, Berkeley, v. 37, n. 8, p. 203-218, 1966.

Capítulo 21

Irrigação e fertirrigação na cultura da cenoura

Waldir Aparecido Marouelli
Antônio Francisco Souza
Rubens Alves de Oliveira

Introdução

A cenoura (*Daucus carota* L.) é a quinta olerícola cultivada no Brasil em ordem de importância econômica. Entre 2004 e 2008, a área média anual colhida foi de 6 mil hectares e a produção de 767 mil toneladas.

O cultivo da espécie é uma atividade de relevância socioeconômica nas regiões do Alto Paranaíba, MG, e de Irecê, BA. Os seguintes estados também apresentam produção significativa: São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

A irrigação e a adubação são práticas culturais essenciais ao êxito da cultura, seja pelo incremento de produtividade, seja pela melhor qualidade de raízes, incluindo o aumento do teor de caroteno, de fibras digestivas e do sabor (EVERS, 1989).

Com exceção dos estados da região Sul do Brasil, o cultivo é quase totalmente realizado sob irrigação, especialmente por aspersão. Não obstante, a área irrigada na região Sul vem aumentando nos últimos

anos em razão do incremento de produtividade, da melhoria da qualidade e do menor risco de produção em condições climáticas adversas, associados à prática da irrigação.

A importância da irrigação para o sucesso da cultura da cenoura pode ser constatada na Figura 1. Enquanto o primeiro incremento de produtividade, verificado entre 1983 e 1984, deu-se em virtude da introdução da cultivar Brasília pela Embrapa Hortaliças, o segundo, ocorrido entre 1990 e 1991, foi atribuído, em grande parte, ao uso mais eficiente da irrigação (informação verbal)[1]. A partir de 1990, houve um aumento expressivo da área cultivada de cenoura em Minas Gerais, especialmente na região do Alto Paranaíba, em detrimento de outros estados. Embora não adotassem estratégias de manejo de água plenamente adequadas, essas áreas de produção passaram a ser irrigadas via pivô central, reconhecidamente um sistema de irrigação que aplica água de modo mais uniforme que os sistemas por aspersão convencional.

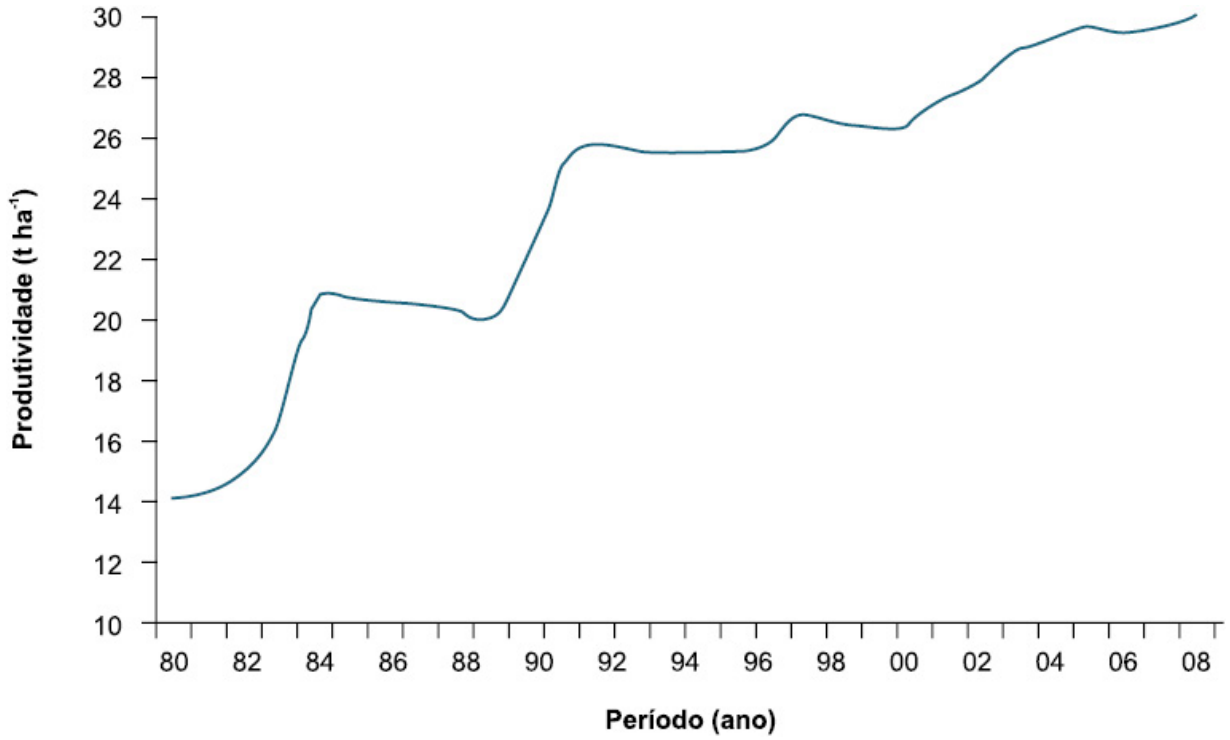


Figura 1. Evolução da produtividade de cenoura no Brasil no período entre 1980 e 2008[2].

No Brasil, a fertilização da cenoura é realizada de forma convencional, via solo, e a prática da fertirrigação ainda é pouco usada. Todavia, a aplicação via água de fertilizantes, principalmente dos nitrogenados e dos potássicos, pode vir a ser uma boa prática de fertilização (EVERS, 1989; RUBATZKY et al., 1999) por causa das muitas vantagens dessa técnica.

Enquanto a produtividade média nacional é de aproximadamente 28 t ha^{-1}, cultivos bem conduzidos, incluindo-se manejo adequado das práticas de irrigação e adubação, apresentam rendimento entre 40 t ha^{-1} e 60 t ha^{-1}. Na região de Alto Paranaíba, MG, bons produtores atingem produtividade acima de 70 t ha^{-1} em sistema de irrigação por pivô central.

1 Comunicação pessoal do doutor Jairo Vidal Vieira, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF, em 1/7/2003.

2 Comunicação pessoal da doutora Nirlene Junqueira Vilela, pesquisadora da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF, em 11/5/2010.

Características da cultura

A cenoura é originária da Europa e da Ásia, especialmente das regiões mediterrâneas e do Sudeste Asiático. Pertence à família Apiacea, e é a principal hortaliça umbelífera cultivada no mundo. Utilizada na forma in natura ou cozida, a cenoura apresenta alto valor nutritivo, e caracteriza-se por ser uma ótima fonte de vitamina A (110 $\mu g\ g^{-1}$ de raiz crua). Além de sua conhecida ação sobre a visão noturna, a vitamina A apresenta propriedades antioxidantes e pode prevenir alguns tipos de câncer. Contém ainda quantidades significativas de vitaminas B1 (0,6 $\mu g\ g^{-1}$), B2 (0,5 $\mu g\ g^{-1}$), B5 (6 $\mu g\ g^{-1}$) e C (0,3 $mg\ g^{-1}$), potássio (3 $mg\ g^{-1}$), cálcio (6 $mg\ g^{-1}$), sódio (5 $mg\ g^{-1}$), além de outros minerais (LUENGO et al., 2000). É utilizada como matéria-prima na fabricação de produtos minimamente processados (cenoura ralada, fatiada, cubos e minicenouras), desidratados (sopa instantânea e caldos) e na indústria de enlatados (seleta de legumes e alimentos infantis).

A temperatura é o fator climático mais importante para a produção de cenoura, por causa de sua influência no crescimento, na coloração das raízes e na síntese de caroteno. O alongamento e a coloração característica da raiz são favorecidos por temperaturas entre 10 °C e 20 °C, dependendo da cultivar. Já a faixa ideal para a germinação encontra-se entre 20 °C e 30 °C. A temperatura elevada associada à alta umidade relativa, principalmente durante o estádio vegetativo, favorece o desenvolvimento de doenças da parte aérea (VIEIRA et al., 1999).

Embora produza melhor em áreas de clima ameno, nas duas últimas décadas o cultivo da cenoura tem-se expandido nas regiões

Nordeste e Centro-Oeste, bem como nos estados da Bahia, de Pernambuco e no Distrito Federal, em virtude do desenvolvimento de cultivares tolerantes ao calor (até 25 °C) e resistentes às principais doenças da parte aérea (VIEIRA et al., 1999).

A cultura da cenoura desenvolve-se bem em solos profundos, bem drenados, de textura média a grossa, com adequados níveis de fertilidade, matéria orgânica e pH em torno de 6,0. Solos compactados e argilosos contribuem para a formação de raízes fibrosas, endurecidas e curtas, enquanto a drenagem deficiente favorece podridões de raízes ocasionadas por microrganismos de solo. Solos pedregosos ou com torrões originam raízes bifurcadas, sem valor comercial (RUBATZKY et al., 1999; VIEIRA et al., 1999).

A implantação da cultura é normalmente realizada em canteiros de 80 cm a 120 cm de largura e de 15 cm a 20 cm de altura, dependendo do tamanho do levantador de canteiro. Parte dos fertilizantes é aplicada a lanço sobre os canteiros, seguida de incorporação com enxada rotativa, e o restante é fornecido em cobertura ao longo do ciclo da cultura.

Sistemas de irrigação

No Brasil, a cenoura é irrigada predominantemente por aspersão, mas pode ser também irrigada por sulcos ou por gotejamento. Os sistemas de irrigação por faixa e por inundação, mesmo que a irrigação seja temporária, não devem ser utilizados em razão da alta

susceptibilidade da cultura a solos encharcados (MAROUELLI; SILVA, 1991; VILDOSO, 1995).

Irrigação por aspersão

O sistema de irrigação por aspersão convencional é o mais utilizado, especialmente nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, seguido do pivô central. Nos sistemas convencionais portáteis e fixos, os aspersores mais utilizados são os de impacto com raio de alcance em torno de 16 m.

O uso de aspersores do tipo canhão hidráulico, e mesmo aqueles de menor tamanho, que operam com pressão de serviço inferior a 2,5 kgf cm^{-2}, pode provocar compactação do solo, exposição das sementes e erosão do canteiro, comprometendo o estande final e favorecendo a ocorrência de ombro-verde. Esses problemas podem ser evitados elevando-se a pressão de serviço do aspersor para a formação de gotas de menor diâmetro. Para minimizar o impacto das gotas sobre a superfície do solo e sobre as plântulas, melhorar a uniformidade de distribuição de água e reduzir a deriva de água pelo vento, os aspersores devem ser posicionados próximo à superfície do solo.

Nos últimos anos, produtores de cenoura da região de Irecê, BA, têm optado por sistemas fixos de microaspersão. Todavia, nessa região é comum o uso de tubos de polietileno perfurados com raios laser, com orifícios de 0,3 mm de diâmetro. Recomenda-se o uso do tubo tipo I, dotado de orifícios espaçados de 15 cm. No campo, os tubos devem ser espaçados de 3,0 m, e operam com pressão de serviço de até 0,8 kgf cm^{-2}. A distribuição de água é feita com jatos bem finos que não causam erosão, o que contribui para melhorar a

germinação e manter a integridade dos canteiros, minimizando problemas de ombro-verde. A principal desvantagem desse sistema é a necessidade do corte das folhas das plantas laterais do canteiro para evitar que interfiram na distribuição de água.

Em grandes áreas de cultivo, como a região de Alto Paranaíba, MG, predomina o sistema de pivô central. Na região de Irecê, BA, alguns produtores também utilizam esse sistema, geralmente irrigando áreas inferiores a 10 ha.

Mesmo em países onde os sistemas por sulcos e por gotejamento são empregados, a aspersão é frequentemente utilizada para a irrigação da cultura no estádio de crescimento inicial das plantas (MCGIFFEN et al., 1997; RUBATZKY et al., 1999). Isso se faz necessário em razão de a aspersão manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, o que favorece a germinação e evita a formação de crosta na superfície do solo e, consequentemente, a emergência de plântulas.

Irrigação por gotejamento

Apesar das vantagens que o sistema por gotejamento oferece, ainda tem sido pouco adotado para a irrigação da cenoura. A principal limitação é o alto custo de aquisição do sistema, decorrente da grande quantidade de tubulações e emissores que são necessários para atender à alta densidade de plantio da cultura. O custo unitário de um sistema por gotejamento para cenoura pode ser quatro vezes maior que o custo de um sistema por aspersão.

Segundo McGiffen et al. (1997), a irrigação por gotejamento na cultura da cenoura tem sido bastante avaliada na Califórnia, EUA,

mas os resultados não têm sido satisfatórios. No caso do gotejamento superficial, além da interferência das tubulações na colheita, o excesso de água no solo, ocasionado por irrigações em demasia, ou o cultivo em solos com drenagem deficiente, favorecem a incidência de radicelas laterais. Por sua vez, o uso de gotejamento subterrâneo requer que as tubulações sejam enterradas a, pelo menos, 35 cm de profundidade para não serem danificadas durante o preparo do solo ou pelo equipamento de colheita. Nessa profundidade, a distribuição de água é inadequada para o bom desenvolvimento das plantas. Em áreas experimentais, Martin et al. (1996) obtiveram sucesso irrigando cenoura com gotejadores a 20 cm de profundidade, porém utilizaram a aspersão para o estabelecimento inicial da cultura.

Demattê et al. (1981) verificaram que a produtividade da cenoura (cv. Kuroda) irrigada por gotejamento foi 50% maior que por aspersão em decorrência do maior comprimento e diâmetro das raízes. Mesmo assim, o gotejamento mostrou ser, naquele estudo, economicamente inviável. Embora tenha ocorrido redução substancial do custo dos sistemas de irrigação por gotejamento nos últimos 20 anos, não existem estudos recentes para as condições brasileiras sobre o rendimento físico e econômico da cenoura sob gotejamento. Destaca-se, ainda, que a cultivar Kuroda é muito mais susceptível a doenças foliares, principalmente quando irrigada por aspersão, que cultivares do grupo ‘Brasília’. Assim, incrementos de produtividade resultantes do uso do gotejamento em cultivares tolerantes a doenças foliares, como as do grupo ‘Brasília’, devem ser substancialmente inferiores aos relatados por Demattê et al. (1981), conforme observações preliminares realizadas pela Embrapa Hortaliças.

Para o cultivo da cenoura, os gotejadores devem ser espaçados de modo que se forme uma faixa molhada contínua ao longo da linha de plantio. Como regra, pode-se adotar espaçamento entre emissores que varie de 10 cm a 20 cm para solos de textura grossa, de 20 cm a 30 cm para textura média e de 30 cm a 50 cm para textura fina. Para sistema de cultivo em canteiros, com largura de 100 cm a 120 cm, podem ser necessárias de duas a três linhas de gotejadores por canteiro. Para Latossolo Roxo, Demattê et al. (1981) utilizaram três linhas de gotejadores por canteiro de 120 cm de largura, com espaçamento entre gotejadores de 40 cm.

Necessidade de água das plantas

A necessidade de água da cenoura, dependendo das condições climáticas, do ciclo da cultivar e do sistema de irrigação, varia de 350 mm a 550 mm (CARVALHO et al., 1995; MAROUELLI; VIEIRA, 1990; MOURA et al., 1994). A demanda aumenta com o crescimento das plantas, e chega ao seu máximo no estádio de engrossamento de raiz, reduzindo ligeiramente no estádio de maturação.

A cenoura é altamente sensível ao deficit hídrico. O sucesso da cultura é obtido quando a umidade do solo mantém-se próximo à capacidade de campo durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas (RUBATZKY et al., 1999). Entretanto, o excesso de água pode ser mais prejudicial que as condições de baixa disponibilidade de água no solo (WHITE, 1992). O excesso, além de favorecer maior incidência de doenças de solo, limita a disponibilidade de

oxigênio e a absorção de água e nutrientes pelas raízes. O problema é mais grave em solos de várzea com drenagem deficiente. Entre os estádios da cultura, o inicial e o vegetativo são os mais sensíveis a condições de aeração deficitária (VILDOSO, 1995).

No estádio de máximo desenvolvimento (65 a 75 dias do semeio), as raízes absorventes da cenoura podem explorar uma profundidade de solo entre 50 cm e 75 cm. Assim, para não comprometer a aeração na zona radicular, o lençol freático deve estar pelo menos a 75 cm de profundidade (RUBATZKY et al., 1999). Para fins de irrigação, a profundidade efetiva do sistema radicular da cenoura, na qual se concentram aproximadamente 80% das raízes, varia entre 35 cm e 45 cm. Contudo, deve ser avaliada para cada condição específica e estádio fenológico da cultura (MAROUELLI et al., 2008).

A cenoura é uma hortaliça sensível à salinidade do solo. Seu rendimento ótimo é alcançado para uma condutividade elétrica do extrato de saturação máxima de 1,0 dS m^{-1}. Para condutividade de 1,7 dS m^{-1}, a redução esperada de rendimento é da ordem de 10%; para 4,6 dS m^{-1}, é de 50% e para 8,1 dS m^{-1}, é de 100% (ALLEN et al., 1998). Água com salinidade acima de 1,0 dS m^{-1} deve ser evitada para a irrigação. Problemas de salinidade podem ocorrer principalmente em regiões semiáridas, onde a precipitação pluviométrica não ultrapassa 700 mm.

O ciclo fenológico, da semeadura até a colheita, varia de 85 a 125 dias, dependendo da cultivar, do clima e da época de colheita. No que diz respeito à necessidade de água, o crescimento pode ser

dividido em quatro estádios: inicial, vegetativo, engrossamento de raiz e maturação.

Estádio inicial

O estádio inicial compreende o período que vai da semeadura até o estabelecimento inicial das plantas (cerca de 5 dias após o desbaste), e apresenta duração de 30 a 35 dias. A cenoura é particularmente sensível à falta de água durante a germinação e a emergência, quando o secamento, a formação de crostas e o aquecimento superficial do solo podem provocar a morte das plântulas (FILGUEIRA, 2000; MAROUELLI; VIEIRA, 1990). A melhor germinação ocorre quando a umidade mantém-se próxima da capacidade de campo. Mesmo em condições moderadas de umidade, pode ocorrer redução significativa da taxa de germinação (LIMA JÚNIOR et al., 1999; MAROUELLI; VIEIRA, 1990).

O uso de aspersores com taxa de aplicação de água maior que a infiltração do solo provoca escoamento superficial e formação de crostas, prejudicando o estande final.

Nesse estádio, tanto quanto a falta, o excesso de água também pode comprometer o estande de plantas. Irrigações excessivas favorecem o desenvolvimento de vários patógenos associados à ocorrência de podridão de pré-emergência e tombamento, como *Alternaria dauci*, *Alternaria radicina*, *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani* e *Xanthomonas campestris* (VIEIRA et al., 1999).

A evapotranspiração da cultura (ETc) no estádio inicial depende, principalmente, da evaporação de água na superfície do solo, a qual é função da fração de solo umedecida superficialmente (100% na

aspersão), da frequência de irrigação e da demanda evapotranspirativa da atmosfera (ALLEN et al., 1998).

Estádio vegetativo

O estádio vegetativo compreende o período entre o estabelecimento inicial das plantas no campo e o início do engrossamento de raízes. Nesse estádio, a raiz de armazenamento cresce predominantemente em comprimento (crescimento primário). Todavia, a raiz continua crescendo por um período de até 60 a 70 dias após a germinação.

Embora as plantas sejam menos sensíveis ao deficit hídrico nos estádios inicial e de engrossamento de raiz, irrigações deficitárias durante o estádio vegetativo ocasionam menor crescimento das plantas, com redução da produtividade, mesmo que o suprimento de água no estádio seguinte seja adequado (RUBATZKY et al., 1999). Entretanto, como as plantas apresentam maior vigor no estádio inicial, pode-se adotar um maior intervalo entre as irrigações.

Condições de deficit ou de excesso de água no solo decorrentes do manejo inadequado da irrigação, assim como solos com estrutura ou preparo impróprios, favorecem a incidência de raízes deformadas, que podem tornar-se bifurcadas e curtas (MCGIFFEN et al., 1997; RUBATZKY et al., 1999). Para prevenir tais distúrbios, devem-se evitar irrigações em excesso ou insuficientes, escolher terrenos com boa drenagem natural e realizar o preparo do solo eliminando-se os torrões.

Estádio de engrossamento de raiz

Esse estádio corresponde ao período em que a raiz de armazenamento começa a crescer rapidamente em diâmetro (crescimento secundário) até o início da senescência da parte aérea. De fato, o engrossamento de raiz inicia-se aproximadamente aos 40 dias após a semeadura e estende-se até a colheita (LUNARDI; LAPERUTA FILHO, 1999; SILVA et al., 1982).

O estádio de engrossamento de raiz, no qual a necessidade de água das plantas atinge o máximo nível de demanda (LUNARDI; LAPERUTA FILHO, 1999; MOURA et al., 1994), é altamente sensível ao deficit hídrico (STANLEY; MAYNARD, 1990). A deficiência de água restringe o armazenamento de carboidratos nas raízes de reserva, e reduz o diâmetro e o rendimento (RUBATZKY et al., 1999).

Entre os distúrbios fisiológicos prejudiciais à aparência da raiz, os quais podem ocorrer em irrigação deficitária, a formação de radicelas laterais é o mais frequente (MAROUELLI; VIEIRA, 1990; ORZOLEK; CARROLL, 1978).

O excesso de água no solo, resultante de irrigações em demasia e/ou de solos com drenagem deficiente, prejudica o crescimento das raízes e favorece a incidência de doenças, bem como de raízes cônicas e descoloridas (MAROUELLI; SILVA, 1991; MAROUELLI; VIEIRA, 1990).

Estádio de maturação

Durante esse estádio, compreendido entre o início da maturação e a colheita, há uma ligeira redução da necessidade de água pelas

plantas. O sinal de amadurecimento é indicado pelo amarelecimento e secamento das folhas inferiores das plantas.

Como a época de colheita é determinada muitas vezes pela demanda de mercado, ou seja, tamanho e preço de raiz, a duração do estádio de maturação é muito variada. Algumas vezes, a colheita é realizada ainda no estádio de engrossamento de raiz.

Estresse hídrico durante o final do estádio anterior e o estádio de maturação pode prejudicar significativamente a qualidade das raízes. Variações bruscas no teor de água no solo, especialmente no período próximo à colheita, favorecem maior incidência de rachaduras ou fendilhamento longitudinal de raiz (MCGIFFEN et al., 1997; RUBATZKY et al., 1999). A deficiência de água leva a uma perda de elasticidade da parede celular do floema; assim, quanto mais água for aplicada após um período de deficit hídrico prolongado, mais rapidamente o xilema se expande, provocando a rachadura da raiz. Esse distúrbio fisiológico também está associado à deficiência de boro e cálcio, a qual provoca enfraquecimento da parede celular da raiz (VIEIRA et al., 1999).

O teor de sólidos solúveis das raízes está diretamente relacionado à quantidade de água aplicada ao longo do estádio de maturação. Culturas irrigadas em excesso produzem raízes com menor teor de açúcar que aquelas menos irrigadas (STANLEY; MAYNARD, 1990). Irrigações excessivas, principalmente durante o estádio de maturação, também prejudicam a coloração das raízes, além de favorecerem doenças como a podridão-de-raiz, que pode ser induzida por diversos patógenos, como os fungos *Sclerotium rolfsii* e *Sclerotinia sclerotiorum* e a bactéria *Erwinia carotovora* (RUBATZKY et al., 1999; VIEIRA et al., 1999).

Manejo de irrigação

O rendimento máximo é obtido quando as irrigações são realizadas com a aplicação de lâminas de água correspondentes à evapotranspiração potencial da cultura da cenoura. Em termos gerais, deficit de irrigação de 20% reduz a produtividade de raízes comercializáveis em cerca de 20%, deficit de 40% reduz em 50% e deficit de 60% reduz em 100% (CARVALHO et al., 1995). Além disso, a lâmina de água que maximiza a produção física é próxima daquela que promove o máximo retorno econômico (CARVALHO et al., 1994). Assim, as irrigações devem ser realizadas antes que ocorra deficit hídrico, a fim de que o solo seja mantido em condições ideais de umidade durante todo o ciclo fenológico da cultura (RUBATZKY et al., 1999). Mesmo em condições de disponibilidade limitada de água, deve-se optar por maximizar a produção por unidade de área e não irrigar com deficit uma área maior que a possível.

Alguns autores têm utilizado o conceito de unidades térmicas (graus-dia), a fim de superar as inadequações do calendário diário para predizer os estádios fenológicos e correlacionar com as necessidades de água das culturas (coeficientes de cultura). Valores de GD acumulados e de dias após a semeadura nos estádios de desenvolvimento das cultivares Brasília e Nantes, na região do Alto Paranaíba, MG, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de graus-dia acumulados (*GDA*) e dias após a semeadura (*DAS*) nos estádios de desenvolvimento da cenoura, para as cultivares Brasília e Nantes, no Município de Alto Paranaíba, MG.

Estádio[(1)]	Cultivar Brasília		Cultivar Nantes	

	GDA	DAS	GDA	DAS
I	470	30	473	35
II	463	30	432	35
III e IV	739	46	769	56
Total	**1.672**	**106**	**1.674**	**126**

(1) Estádio I (inicial): semeadura até 10% da cobertura do solo; estádio II (vegetativo): do final do estádio I até 80% da cobertura do solo; estádios III e IV (engrossamento de raiz e maturação): final do estádio II até a colheita.
Fonte: Rocha (2003).

Os coeficientes de cultura (*Kc*) nos diferentes estádios da cenoura, necessários para o cálculo da *ETc* e para a reposição de água ao solo, apresentam-se na Tabela 2. Nota-se que os valores de *Kc* são dependentes, principalmente, do sistema de irrigação e da frequência de irrigação (ALLEN et al., 1998; MAROUELLI et al., 1996).

Tabela 2. Coeficiente de cultura (*Kc*), conforme o sistema de irrigação, e duração dos estádios de desenvolvimento da cenoura.

Estádio	*Kc*			Duração (dias)
	Aspersão	Gotejamento	Sulco	
Inicial	0,95–1,05(1)	0,75–0,85	0,70–0,80	25–35
Vegetativo	0,95–1,05	0,75–0,85	0,80–0,90	20–25
Engrossamento de raiz	1,05–1,15	0,95–1,05	1,00–1,10	25–35
Maturação	0,95–1,10	0,90–1,00	0,95–1,05	15–25

(1) Para turno de rega (TR) de 1 dia, usar Kc de 1,05 a 1,15; para TR ≥ 3 dias, usar de 0,70 a 0,85.
Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Marouelli et al. (2008) e Oliveira et al. (2002).

O coeficiente de cultura (*Kc*) representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a *ETc* da evapotranspiração de referência (*ETo*): a altura da cultura, a resistência de superfície e o albedo da superfície cultura-solo. Quando a cobertura vegetal é

pequena e a superfície do solo é mantida úmida, a evapotranspiração ocorre predominantemente pela evaporação direta de água do solo. Quanto mais frequentes forem as irrigações no estádio inicial de desenvolvimento da cultura, maior deve ser o valor de Kc. Durante o período vegetativo, o valor de Kc varia de acordo com o desenvolvimento da cultura e com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação (ALLEN et al., 1998).

Manejo de irrigação no estádio inicial

Para melhor germinação, a semeadura deve ser realizada em solo úmido (RUBATZKY et al., 1999). A lâmina de água a ser aplicada antes da semeadura deve ser suficiente para elevar a umidade do solo à capacidade de campo na camada até 30 cm. Dependendo do tipo de solo e da sua umidade inicial, a lâmina líquida varia entre 10 mm e 15 mm para solos de textura grossa e entre 20 mm e 40 mm para os de texturas média e fina (MAROUELLI et al., 2008). No caso de irrigação por gotejamento, a lâmina deve ser cerca de 30% menor e aplicada de forma fracionada durante o período de 2 a 3 dias para a melhor formação da faixa molhada.

A quantidade de água aplicada por irrigação depende do estádio de desenvolvimento da cultura, da demanda evaporativa da atmosfera, do turno de rega e do sistema de irrigação, e deve ser determinada a partir do coeficiente de cultura apropriado (Tabela 2). Para irrigação por aspersão, o valor médio de Kc recomendado para o estádio inicial é de 0,80 para turno de rega acima de três dias, de 1,00 para irrigações a cada dois dias e de 1,10 para irrigações

diárias. Para condições climáticas moderadas, a ETc no estádio inicial varia entre 3 mm dia^{-1} e 6 mm dia^{-1}.

Manejo de irrigação nos demais estádios

Para maior produtividade de raízes comercializáveis, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão, avaliada na região correspondente a 50% da profundidade efetiva das raízes, atingir entre 10 kPa e 15 kPa para solos de textura arenosa e entre 20 kPa e 40 kPa para solos de texturas média e fina (MARTIN et al., 1999; SILVA et al., 1982). Os menores valores, dentro de cada classe textural, devem ser tomados como limite para a reposição de água nos estádios mais tolerantes ao deficit hídrico. Para irrigação por gotejamento, em que o solo deve ser mantido com maior teor de água, deve-se considerar a faixa de tensão entre 7 kPa e 20 kPa.

O fator de disponibilidade de água no solo (f) indica a fração da água total disponível no solo, a qual pode ser utilizada pelas plantas sem provocar redução de rendimento da cultura, podendo ser obtido a partir da tensão recomendada para reinício da irrigação e da curva de retenção de água no solo. Para solos de textura fina e com alta evapotranspiração (ETo > 6 mm dia^{-1}), devem-se usar valores entre 0,30 e 0,35; para solos de textura grossa e com baixa evapotranspiração (ETo < 4 mm dia^{-1}), entre 0,50 e 0,55 (ALLEN et al., 1998; MAROUELLI et al., 2008). Para gotejamento, deve-se considerar um fator de disponibilidade entre 0,15 e 0,25.

Na prática, a maioria dos produtores adota critérios empíricos com base em observações visuais dos sintomas de deficiência de água na planta e no solo ou valores fixos de turno de rega e lâmina de água. Tais critérios, mesmo para produtores com grande experiência, podem levar à redução de produtividade, à maior incidência de doenças e à menor eficiência tanto no uso de água e de energia quanto na absorção de nutrientes, em razão de as plantas serem submetidas a condições de excesso e/ou falta de água.

Marouelli et al. (2008) desenvolveram tabelas que permitem estimar a ETc (Tabela 3) e o turno de rega (Tabela 4) para cada estádio fenológico da cenoura a partir de dados históricos de temperatura e umidade relativa média do ar, tipo de solo e profundidade efetiva de raiz. O uso de tabelas é indicado para auxiliar produtores com menor experiência, que não adotam critérios e/ou equipamentos necessários para manejar a irrigação de forma consistente. Como regra para aspersão, a frequência de irrigação da cenoura varia entre 2 e 4 dias para solos de textura média e para condições climáticas moderadas (ETo entre 3 mm dia^{-1} e 5 mm dia^{-1}), e pode ser necessária uma ou duas irrigações por dia para solos arenosos e condições climáticas extremas (ETo > 6 mm dia^{-1}).

Tabela 3. Evapotranspiração da cultura da cenoura (mm dia^{-1}), conforme a umidade relativa, a temperatura média do ar e o estádio da cultura.

UR_m (%)	Temperatura (ºC)													
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Estádio inicial(1), estádio vegetativo e estádio de maturação														
40	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7	6,3	6,9	7,6	8,2	8,9	9,6	10,3	11,1	11,9
45	3,4	3,8	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	6,9	7,5	8,2	8,8	9,5	10,2	10,9
50	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,3	9,9

UR_m (%)	Temperatura (ºC)													
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
55	2,8	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,2	7,8	8,3	8,9
60	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,6	5,0	5,5	5,9	6,4	6,9	7,4	7,9
65	2,2	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,5	6,9
70	1,9	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0
75	1,6	1,8	2,1	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,9	5,2
80	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2
85	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1
90	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1
Estádio de engrossamento de raiz														
40	4,1	4,6	5,2	5,7	6,4	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,6	11,4	12,3	13,2
45	3,8	4,2	4,7	5,3	5,8	6,4	7,0	7,7	8,3	9,0	9,7	10,5	11,3	12,1
50	3,4	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,4	7,0	7,6	8,2	8,8	9,5	10,2	11,0
55	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,7	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,2	9,9
60	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,2	8,8
65	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2	6,7	7,2	7,7
70	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
75	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6	4,0	4,3	4,6	5,0	5,4	5,7
80	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6
85	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
90	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3

(1) Para turno de rega ≥ 3 dias durante o estádio inicial, reduzir em 25% os valores de ETc.
Fonte: adaptado de Marouelli et al. (2008).

Tabela 4. Turno de rega (dia) para a cultura da cenoura, de acordo com a evapotranspiração da cultura (*ETc*), com a profundidade de raízes e com a textura do solo.

ETc (mm dia^{-1})	Profundidade efetiva de raízes (cm)								
	10			30			50		
	Textura			Textura			Textura		
	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina
1	3	5	7	-	-	-	-	-	-
2	1	2	4	4	7	11	-	-	-

3	1	2	2	3	5	7	4	8	12
4	1	1	2	2	4	5	3	6	9
5	1	1	1	2	3	4	3	5	7
6	½	1	1	1	2	4	2	4	6
7	½	1	1	1	2	3	2	3	5
8	-	-	-	1	2	3	2	3	4
9	-	-	-	1	2	2	1	3	4
10	-	-	-	1	1	2	1	2	4
11	-	-	-	1	1	2	1	2	3
12	-	-	-	1	1	2	1	2	3
13	-	-	-	1	1	2	1	2	3

Obs.: ½ = 2 irrigações por dia.
Fonte: Marouelli et al. (2008).

As irrigações devem ser realizadas até próximo à colheita, o que facilita o arranque das raízes e propicia a obtenção de cenouras mais tenras e sem danos (MAROUELLI; VIEIRA, 1990). A última irrigação deve ser realizada de 1 a 6 dias antes da colheita. O menor valor deve ser utilizado em cultivos realizados em condições de alta evapotranspiração (ETo > 6 mm dia^{-1}) e/ou em solos mais arenosos, enquanto o maior valor deve ser utilizado em baixa evapotranspiração (ETo < 4 mm dia^{-1}) e/ou em solos com maior capacidade de retenção de água (MAROUELLI et al., 2008). Verificar Tabela 5 com recomendações mais detalhadas.

Tabela 5. Sugestão de número de dias antes da colheita da cenoura para se paralisarem as irrigações, conforme a textura do solo e a evapotranspiração da cultura (ETc).

ETc < 5 mm dia^{-1}			**ETc > 5 mm dia^{-1}**		
Textura do solo			**Textura do solo**		
Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina
2	4	6	1	2	4

Fonte: Marouelli et al. (2008).

Exigências nutricionais

A cenoura, por apresentar alta taxa de crescimento em ciclo curto (85 a 125 dias) e sistema radicular pouco desenvolvido, exige alta disponibilidade de nutrientes na solução do solo (CARNICELLI, 2000). O conhecimento da exigência nutricional da cultura, associado ao manejo adequado da adubação e da irrigação, afeta de forma positiva a produção de raízes.

A extração de macronutrientes pela cultura da cenoura ocorre na seguinte ordem decrescente: K, N, Ca, P, S e Mg (TRANI et al., 1993). Trabalhos realizados por diversos autores (HAAG; HOMA, 1969; KEMMLER, 1988; LASKE, 1962) permitem estimar uma relação de extração média de 1,00:0,22:1,70 para N:P:K. No entanto, podem ocorrer diferenças nos totais extraídos em razão de alguns fatores, tais como: cultivar, disponibilidade de nutriente no solo, condições edafoclimáticas e práticas de manejo (SOUZA et al., 2003b).

Dados de marcha de absorção de nutrientes pela cultura contêm informações de valiosa importância para um adequado programa de fertirrigação. Pela análise dessas informações, evidenciam-se os períodos em que as plantas absorvem os nutrientes em maior proporção. Com isso, são obtidas informações básicas para o parcelamento das aplicações dos fertilizantes, principalmente quando se pretende empregar a prática da fertirrigação. De modo geral, a marcha de absorção de nutrientes segue o padrão de

crescimento da planta de cenoura. Os nutrientes são extraídos em quantidades reduzidas durante o período de 45 a 50 dias após a germinação, e intensificam-se substancialmente até os 85 dias quando então ocorre estabilização da extração de K, Ca, Mg e S, continuando a aumentar as de N e P (Tabela 6).

Tabela 6. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura da cenoura (ciclo de cem dias), expressa como porcentagem acumulada da extração total.

Idade (dias após a germinação)	Quantidade relativa (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
18	0,3	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0
40	5,2	2,4	3,2	3,3	4,6	1,9
55	15,4	7,1	9,9	13,4	13,8	13,0
65	32,3	21,3	25,0	32,5	35,3	35,4
75	53,3	43,2	42,4	53,6	49,8	57,5
85	74,4	78,2	86,8	88,9	91,1	109,6
100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: adaptado de Fernandes et al. (1972).

A cenoura é uma hortaliça sensível à acidez do solo, cujo pH ideal deve estar entre 6,0 e 6,5. A calagem deve ser realizada cerca de 3 meses antes do plantio, e deve ser suficiente para elevar de 60% a 70% a saturação por bases do solo e o teor de magnésio a um mínimo de 0,8 $cmol_c$ dm^{-3} (TRANI et al., 1999). A elevação exagerada do pH diminui a disponibilidade de micronutrientes como B, Cu, Fe, Mn e Zn, e reduz a produtividade.

As quantidades de nutrientes necessárias à otimização da produção de cenoura variam de forma considerável e dependem de vários fatores, tais como: sua disponibilidade no solo, tipo de solo, modo de aplicação, manejo da cultura e produtividade esperada. Para a

maioria das condições de cultivo, são necessários de 50 kg ha^{-1} a 150 kg ha^{-1} de N, de 100 kg ha^{-1} a 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 e de 80 kg ha^{-1} a 300 kg ha^{-1} de K_2O.

A recomendação de nitrogênio deve ser realizada, primariamente, a partir da produtividade esperada. Como regra, pode-se considerar que, para cada tonelada de raiz produzida, devem ser aplicados aproximadamente 3,2 kg de N (HAAG; HOMA, 1969; KEMMLER, 1988; LASKE, 1962). Por exemplo, se a produtividade esperada é de 50 t ha^{-1}, a dose total de N será de 160 kg ha^{-1}. Dependendo do teor inicial de matéria orgânica no solo, quantidades significativas de N podem ser liberadas pela sua mineralização.

Existem recomendações de dose de nitrogênio para condições regionais (Tabelas 7 a 10). Para Minas Gerais e para a região de Irecê, BA, a recomendação é de 120 kg ha^{-1} de N (COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO, 1989; TRANI et al., 1999); para São Paulo, de 60 kg ha^{-1} a 120 kg ha^{-1} (TRANI et al., 1996) e para a região Centro-Oeste, de 80 kg ha^{-1} a 100 kg ha^{-1} (VIEIRA et al., 1999). O problema é que tais recomendações podem limitar a obtenção de produtividades acima das médias regionais para as quais são recomendadas.

Tabela 7. Sugestão de adubação mineral para a produção de cenoura no Estado de São Paulo.

P resina (mg dm^{-3})			K trocável ($mmol_c$ dm^{-3})			Zn (mg dm^{-3})	
≤ 25	26–60	> 60	≤ 1,5	1,6–3,0	> 3,0	≤ 0,5	>0,5
Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})			Dose de K_2O[(1)] (kg ha^{-1})			Dose de Zn (kg ha^{-1})	
360	240	180	180	120	60	3	0
Adubação nitrogenada[(2)]: 60 kg ha^{-1} a 120 kg ha^{-1} de N							

(1) Adicionalmente, aplicar de 30 kg ha^{-1} a 60 kg ha^{-1} de K_2O de forma parcelada aos 15, 30 e 50 dias da germinação.
(2) Parcelar aos 15, 30 e 50 dias da germinação.
Fonte: Trani et al. (1996).

Tabela 8. Sugestão de adubação mineral para a produção de cenoura no Estado de Minas Gerais.

Adubação fosfatada						Adubação potássica(1)	
P no solo(2) (mg dm^{-3})			Dose P_2O_5 (kg ha^{-1})			K no solo2 (mg dm^{-3})	Dose de K_2O (kg ha^{-1})
Textura do solo			Textura do solo				
Fina	Média	Grossa	Fina	Média	Grossa		
≤ 5,4	≤ 10,0	≤ 20,0	400	320	240	< 40	320
5,5–8,0	10,1–16,0	20,1–30,0	320	240	160	41–70	240
8,1–12,0	16,1–24,0	30,1–45,0	240	160	80	71–120	160
> 12,0	> 24,0	> 45,0	160	80	0	> 120	80
Adubação nitrogenada(3): 120 kg ha^{-1} de N							

(1) Aplicar 40% em pré-plantio, 30% aos 20 dias e 30% aos 40 dias da emergência.
(2) Extrator Mehlich-1.
(3) Parcelar no plantio, aos 20 e 40 dias da emergência.
Obs.: produtividade esperada de 40 t ha^{-1}.
Fonte: adaptado de Trani et al. (1999).

Tabela 9. Sugestão de adubação mineral para a produção de cenoura na região de Irecê, Bahia.

Adubação fosfatada		Adubação potássica	
P no solo(1) (mg dm^{-3})	Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	K no solo(1) (mg dm^{-3})	Dose de K_2O (kg ha^{-1})
0–10	240	0–30	140
11–20	140	31–60	100
21–30	80	61–90	60
Adubação nitrogenada(2): 120 kg ha^{-1} de N			

(1) Extrator Mehlich-1.
(2) Parcelar no plantio, aos 20 e 40 dias da emergência.
Fonte: adaptado da Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989).

Tabela 10. Sugestão de adubação mineral para a produção de cenoura na região Centro-Oeste do Brasil.

P no solo[1] (mg dm^{-3})	Dose de P_2O_5 (kg ha^{-1})	K no solo[1] (mg dm^{-3})	Dose de K_2O (kg ha^{-1})
Adubação fosfatada		**Adubação potássica**	
< 10	400–600	< 60	200–300
11–30	200–400	60–120	100–200
31–60	100–200	121–240	50–100
> 60	50[2]	> 240	0
Adubação nitrogenada[3]		**Micronutrientes**	
80 kg ha^{-1} a 100 kg ha^{-1} de N		2 kg ha^{-1} de B	4 kg ha^{-1} de Zn

[1] Extrator Mehlich-1.
[2] Dose para manter o teor de P no solo em nível adequado.
[3] Parcelar no plantio, aos 30 e 60 dias da emergência.
Fonte: Vieira et al. (1999).

As quantidades totais de aplicações de potássio e de fósforo devem ser estabele-cidas a partir do resultado da análise de solo e da produtividade esperada. Nas Tabelas 7 a 10, apresentam-se recomendações de adubação para as principais regiões produtoras de cenoura do Brasil. De modo geral, tais recomendações são suficientes para alcançar produtividades de até 40 t ha^{-1}. Para rendimentos superiores, deve-se aplicar uma quantidade adicional de nutriente para suprir a maior extração pelas plantas. Sugerem-se aplicar 1,6 kg de P_2O_5 e 6,5 kg de K_2O (HAAG; HOMA, 1969; KEMMLER, 1988; LASKE, 1962) para cada tonelada de raiz produzida acima de 40 t ha^{-1}.

O uso de adubação orgânica para a produção em pequenas áreas é relativamente comum. Em geral, aplicam-se entre 30 t ha^{-1} e 40 t ha^{-1} de esterco de curral bem-curtido aproximadamente 15 dias antes do plantio; a maior dose deve ser aplicada em solos arenosos (TRANI et al., 1996, 1999; VIEIRA et al., 1999). Dependendo da

quantidade aplicada, do teor de matéria seca e da qualidade do esterco utilizado, as quantidades de N, P_2O_5 e K_2O fornecidas podem variar entre 100 kg ha^{-1} e 200 kg ha^{-1}. Além de melhorar a fertilidade, a adubação orgânica melhora as condições físicas e biológicas do solo. Em grandes áreas de produção, não se tem aplicado esterco, e os nutrientes são fornecidos por meio de adubação química. Todavia, a rotação de cultura com gramíneas e a consequente incorporação dos restos culturais é prática comum entre a maioria dos produtores de cenoura.

A cultura da cenoura, por ter ciclo relativamente curto, não permite larga margem para a recuperação de danos causados por práticas inadequadas de fertilização. A diagnose nutricional pode ser usada para que problemas sejam detectados a tempo e seja possível evitar maiores prejuízos ao rendimento da cultura.

Existem diversos procedimentos para que a diagnose da deficiência nutricional das plantas seja efetuada. A aparência visual é o método frequentemente adotado pelos produtores. Consiste na observação, caracterização e descrição de sintomas de deficiência ou toxicidade em determinadas plantas e na comparação com sintomas padronizados de cada nutriente. Por ser realizado no campo, sem o uso de equipamentos, esse procedimento é muito rápido. As principais desvantagens estão relacionadas às interações antagônicas e sinergísticas entre os elementos no solo e na planta, o que dificulta o diagnóstico. A outra dificuldade que se apresenta diz respeito ao fato de que, quando sintomas visuais são observados, prejuízos já afetaram o rendimento da cultura.

Outros métodos envolvem a análise química de nutrientes na matéria seca ou na seiva da planta. A análise foliar é um

procedimento laboratorial em que os resultados são comparados a padrões existentes no que diz respeito aos níveis de nutrientes na folha da cenoura (Tabela 11). A principal limitação desse método é o tempo (1 a 2 semanas) que decorre entre a amostragem e a obtenção dos resultados. Dependendo do grau de deficiência nutricional, prejuízos ao desempenho da cultura podem ocorrer antes mesmo de os resultados da análise serem obtidos.

Tabela 11. Teores adequados de nutrientes na matéria seca de folhas jovens maduras de cenoura, incluindo o pecíolo, em dois períodos de desenvolvimento das plantas.

Nutriente	Teor (g kg^{-1})		Nutriente	Teor (mg kg^{-1})
	60 dias(1)	Maturação	Dos 60 dias até a maturação(1)	
N	16–25	12–25	Fe	25–80
P	2–4	2–4	Mn	20–50
K	35–70	35–70	Zn	5–30
Ca	20–35	15–30	B	20–50
Mg	2–5	2–4	Cu	1–4

(1) Dias após a semeadura.

Fonte: adaptado de Fernandes et al. (1972), Haag e Homa (1969), Maynard e Hochmuth (1997) e Souza et al. (2003a, 2003b).

Manejo de fertirrigação

Por razões econômicas e práticas, nem todos os nutrientes necessitam ser parcelados ao longo do ciclo fenológico da cultura, seja pelo método convencional de aplicação, seja via fertirrigação. Tipicamente, todo P, Ca, Mg e todos os micronutrientes, principalmente B e Zn, são fornecidos em pré-plantio em razão de serem menos sujeitos à lixiviação e do pequeno incremento de

produtividade quando aplicados via fertirrigação. Por sua vez, somente uma fração do K e do N total deve ser fornecida em pré-plantio; o restante é aplicado de forma parcelada ao longo do ciclo da cultura.

Em virtude da baixa mobilidade do P no solo e do ciclo relativamente curto da cenoura, a eficiência do P aplicado via fertirrigação pode ser prejudicada, por isso esse nutriente deve ser fornecido preferencialmente em pré-plantio (EVERS, 1989).

No Brasil, a aplicação do N e do K em cobertura tem sido realizada predominantemente a lanço. Em razão do espaçamento reduzido entre as plantas de cenoura, a incorporação mecânica do fertilizante é inviável. Com o objetivo de reduzir perdas por volatilização do N e fazer que os nutrientes atinjam as raízes das plantas, realiza-se uma irrigação logo após a adubação de cobertura. Nesse sistema convencional de fertilização, entre 30% e 40% do N e do K são fornecidos em pré-plantio, enquanto o restante é parcelado de duas a três vezes ao longo do ciclo da cultura, entre 15 e 40 dias após a emergência (TRANI et al., 1996, 1999; VIEIRA et al., 1999).

A aplicação de nutrientes via fertirrigação pode ser muito mais frequente que no sistema convencional, a cada 10 a 20 dias na aspersão e de uma a três vezes por semana no gotejamento.

Em razão de parte do N e do K ser aplicada em pré-plantio, não se faz necessária a fertirrigação nas duas primeiras semanas após a semeadura. Em se tratando de gotejamento, a sugestão é iniciar a fertirrigação a partir do início da segunda semana. A última fertirrigação deve ser realizada entre 15 e 25 dias antes da colheita, pois o solo dispõe de quantidade suficiente de nutrientes para suprir as necessidades das plantas até a colheita.

Na aspersão, a injeção de fertilizante deve ser finalizada antes do término da irrigação, a fim de que a tubulação e os emissores do sistema sejam lavados, evitando corrosão, bem como a folhagem das plantas, evitando injúrias aos tecidos. (RUBATZKY et al., 1999). No caso de irrigação por gotejamento, esse procedimento é necessário para lavar as tubulações e os gotejadores.

As recomendações para o parcelamento de N e K via fertirrigação para a cultura da cenoura são apresentadas na Tabela 12. A quantidade a ser aplicada em cada período é determinada a partir da dose total recomendada para cada nutriente.

Tabela 12. Sugestão para o parcelamento de nitrogênio e potássio via fertirrigação[1] ao longo do ciclo fenológico da cultura da cenoura.

Nutriente	Período relativo do ciclo da cultura (%)[2]										
	Plantio[3]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Quantidade relativa de nutriente (%)[4]										
N	20	0	5	10	10	15	15	20	5	0	0
K_2O	30	0	5	5	10	10	15	15	10	0	0

[1] Somente aplicar via água em sistemas por aspersão com eficiência acima de 70%.
[2] Porcentagem do ciclo total da cultura (Ex.: 30% equivalem ao 27º dia de uma cultivar com ciclo de 90 dias).
[3] Aplicar em pré-plantio 20% do N e 30% do K total recomendado.
[4] Porcentagem de nutriente a ser aplicada em cada período em relação à quantidade total.

Exemplo: Calcular a quantidade de nutrientes para adubação de pré-plantio via fertirrigação para a seguinte situação:

- Ciclo da cultura: 95 dias.
- Região: Alto Paranaíba, MG.
- Produtividade esperada: 50 t ha^{-1}.
- Sistema de irrigação: aspersão.

- Frequência de fertirrigação: 15 dias.
- Análise físico-química do solo: textura fina, pH de 6,1, V de 73%, 2,0 $mmol_c\ dm^{-3}$ de Mg, 82 $mg\ dm^{-3}$ de K e 11,5 $mg\ dm^{-3}$ de P.

Solução:

- Pela análise química do solo (pH = 6,1, V = 73% e Mg = 2,0 $mmol_c\ dm^{-3}$), não se faz necessária a aplicação de calcário.
- A dose de N, computada conforme a previsão de produtividade, é de 160 $kg\ ha^{-1}$ (3,2 $kg\ t^{-1}$ x 50 $t\ ha^{-1}$).
- Pela Tabela 8, para solo de textura fina, com 82 $mg\ dm^{-3}$ de K e 11,5 $mg\ dm^{-3}$ de P, obtém-se a dose parcial de 160 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O e 320 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5. A dose total de K_2O será de 225 $kg\ ha^{-1}$ [160 $kg\ ha^{-1}$ + 6,5 $kg\ t^{-1}$ x (50 $t\ ha^{-1}$ - 40 $t\ ha^{-1}$)], e a de P_2O_5 será de 336 $kg\ ha^{-1}$ [320 $kg\ ha^{-1}$ + 1,6 $kg\ t^{-1}$ x (50 $t\ ha^{-1}$ - 40 $t\ ha^{-1}$)].
- Com base na recomendação apresentada na Tabela 12, deve-se ajustar o esquema de parcelamento em razão do ciclo de 95 dias da cultura e da frequência de 15 dias da fertirrigação. Considerando-se que a primeira aplicação será aos 15 dias após a semeadura e a última aos 20 dias antes da colheita, as quantidades relativas de nutrientes por fertirrigação apresentam-se na Tabela 13.
- As quantidades de nutrientes a serem aplicadas por fertirrigação são calculadas multiplicando-se a dose total pela quantidade relativa ajustada para cada época.

Tabela 13. Parcelamento do nitrogênio e do potássio em pré-plantio, via fertirrigação, segundo o exemplo hipotético.

Nutriente	Época da fertirrigação (dias após a semeadura)					
	Plantio[1]	15	30	45	60	75
	Quantidade relativa de nutriente (%)[2]					
N	20	5	10	20	20	25
K_2O	30	5	5	15	20	25
	Quantidade de nutriente (kg ha^{-1})					
N	32,00	8,00	16,00	32,00	32,00	40,00
K_2O	67,50	11,25	11,25	33,75	45,00	56,25

[1] Quantidade de nutriente a ser aplicada em pré-plantio de forma convencional.
[2] Porcentagem de nutriente a ser aplicada em cada período em relação à quantidade total (ajustado a partir da Tabela 12).

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 56).

CARNICELLI, J. H. A.; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R.; CAMARGOS, M. I. Índices de nitrogênio na planta relacionados com a produção comercial de cenoura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, p. 808-810, 2000. Suplemento.

CARVALHO, J. A.; BERNARDO, S.; CASALI, V. W. D.; CECON, P. R. Efeitos da lâmina de irrigação sobre o crescimento da cenoura (*Daucus carota* L.) cv. Brasília, DF, **Revista Ceres**, Viçosa, v. 42, n. 243, p. 528-542, 1995.

CARVALHO, J. A.; BERNARDO, S.; CASALI, V. W. D.; LIMA, J. E.; MANTOVANI, E. C. Análise econômica da produção da cenoura (*Daucus carota* L.) irrigada. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 10., 1994, Salvador. **Anais**... Salvador: ABID, 1994. p. 15-25.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO (Salvador, BA). **Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia**. Salvador: Ceplac: Emater-BA: Embrapa: Epaba: Nitrofertil, 1989. 173 p.

DEMATTÊ, J. B. I.; CASSIANO SOBRINHO, F.; CASTELLANE, P. D.; PERECIN, D.; FERREIRA, A. C. M. Influência dde irrigação por gotejamento e aspersão sobre desenvolvimento, produção e custos da cultura de cenoura (*Daucus carota* L.). **Científica**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 53-59, 1981.

EVERS, A. M. The role of fertilization practices in the yield and quality of carrot (*Daucus carota* L.). **Journal of Agricultural Science in Finland**, Finlândia, v. 61, n. 4, p. 329-360, 1989.

FERNANDES, P. D.; OLIVEIRA, G. D.; HAAG, H. P. Nutrição mineral de hortaliças: XVIII. Extração de macronutrientes de cenoura, cultivada em condições de campo. **O Solo**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 7-13, 1972.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402 p.

HAAG, H. P.; HOMA, P. Nutrição mineral de hortaliças: IX. Absorção de nutrientes pela cultura da cenoura. **O Solo**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 7-12, 1969.

KEMMLER, G. Potassium nutrition of horticultural crops with special reference to crop quality. **Fertiliser News**, New Delhi, IN, v. 33, p. 11-18, 1988.

LASKE, P. Abonamiento de las hortalizas. **Boletim Verde**, Hannover, v. 16, p. 1-51, 1962.

LIMA JÚNIOR, F. A.; SANTOS, E. S.; CARVALHO, H. O.; METRI, J. E. C. Estudo do manejo de irrigação durante o período de germinação da cenoura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais**... Pelotas: SBEA-UFPel, 1999. 4 p. 1 CD-ROM. Trabalho 225.

LUENGO, R. F. A.; PARMAGNANI, R. M.; PARENTE, M. R.; LIMA, M. F. B. F. **Tabela de composição nutricional de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2000. Folheto.

LUNARDI, D. M. C.; LAPERUTA FILHO, J. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da cenoura (*Daucus carota* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 13-17, 1999.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação subsuperficial: uma opção para hortaliças em solos de várzeas. **Hortinforme**, Brasília, DF, n. 5, p. 4-5, 1991.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2008. 150 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: EMBRAPA-CNPH, 1996. 72 p.

MAROUELLI, W. A.; VIEIRA, J. V. Irrigação na produção de raízes e sementes de cenoura. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, n. 42, p. 29-31, 1990.

MARTIN, E. C.; SLACK, D. C.; PEGELOW, E. J. Crop coefficients for vegetables in Central Arizona. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 1996, San Antonio. **Proceedings**... San Antonio: ASAE, 1996. p. 381-386.

MARTIN, E. C.; SLACK, D. C.; PEGELOW, E. J. **Water use in vegetables**: carrots. Tucson: University of Arizona, 1999. 2 p. (Arizona Water Series, 28).

MAYNARD, D. N.; HOCHMUTH, G. J. **Knott´s handbook for vegetables growers**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 582 p.

MCGIFFEN, M.; NUNEZ, J.; SUSLOW, T.; MAYBERRY, K. **Carrot production in California**. Oakland: University of California, 1997. 4 p. (DANR Publication, 7226).

MOURA, M. V. T.; MARQUES JÚNIOR, S.; BROTEL, T. A.; FRIZONE, J. A. Estimativa do consumo de água da cultura da cenoura (*Daucus carota*, L.) v. Nantes Superior, para a região de Piracicaba, através do balanço hídrico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 284-291, 1994.

OLIVEIRA, R. A.; ROCHA, I. B.; SEDIYAMA, G. C.; PUIATTI, M.; CECON, P. R.; SILVEIRA, S. F. R. Coeficiente de cultura da cenoura irrigada por pivô central, nas condições edafoclimáticas do Alto Pananaíba. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. [**Anais**]... Uberlândia: ABID, 2002. 1 CD-Rom.

ORZOLEK, M. D.; CARROLL, R. D. Yield and secondary root growth of carrots as influenced by tillage system cultivation and irrigation. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 103, n. 2, p. 236-239, 1978.

ROCHA, I. B. **Avaliação econômica da produção da cenoura (*Daucus carota* L.) irrigada nas condições edafoclimáticas da região do Alto Paranaíba**. 2003. 105 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RUBATZKY, V. E.; QUIROS, C. F.; SIMON, P. W. **Carrots and related vegetable umbelliferae**. Cambridge: CABI, 1999. 294 p. (CABI. Crop Production Science in Horticulture, 10).

SILVA, W. L. C.; VIEIRA, J. V.; CARRIJO, O. A. Efeito de diferentes tensões de umidade do solo sobre a cultura da cenoura em fase de desenvolvimento ativo do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 2, p. 221-224, 1982.

SOUZA, A. F.; MESQUITA FILHO, M. V.; VIEIRA, J. V.; MARCHETTI, A. Teores de micronutrientes e produção de matéria seca em cenouras do Grupo Brasília, cultivadas em solo sob cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., 2003, Ribeirão Preto. **Anais**... Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003a. 1 CD-ROM.

SOUZA, A. F.; MESQUITA FILHO, M. V.; VIEIRA, J. V.; SOUZA, R. B.; MEIRELES, S. M. Teores de macronutrientes e produção de matéria seca em cenouras do Grupo Brasília, cultivadas em solo sob cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, 2003. Suplemento 2. 1 CD-ROM.

STANLEY, C. D.; MAYNARD, D. N. Vegetables. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 921-950. (Agronomy, 30).

TRANI, P. E.; FORNASIER, J. B.; LISBAO, R. S. Nutrição mineral e adubação da cenoura. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE HORTALIÇAS, 1990, Jaboticabal. **Anais**... Piracicaba: Potafos, 1993. p. 447-462.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; TAVARES, M.; AZEVEDO FILHO, J. A. Beterraba, cenoura, nabo, rabanete e salsa. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico: Fundação IAC, 1996. p. 174.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; TAVARES, M.; AZEVEDO FILHO, J. A.; FILGUEIRA, F. A. R.; AVELAR FILHO, J. A. Cenoura. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 185.

VIEIRA, J. V.; PESSOA, H. B. S. V.; MAKISHIMA, N. (Org.). **A cultura da cenoura**. Brasília, DF: EMBRAPA-SCT, 1999. 80 p. (Coleção Plantar, 43).

VILDOSO, T. A. **Relação entre a produção relativa e o índice diário de estresse para a cultura**

da cenoura (*Daucus carota*, L.). 1995. 43 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

WHITE, J. M. Carrot yield when grown under three soil water concentrations. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 2, p. 105-106, 1992.

Capítulo 22

Irrigação e fertirrigação na cultura da melancia

Aderson Soares de Andrade Júnior
Waldir Aparecido Marouelli
Valdemício Ferreira de Sousa

Introdução

A melancieira é cultivada em todas as regiões do território brasileiro, sendo de grande importância econômica para os pequenos produtores. Segundo dados do IBGE, relativos ao período de 1990–2004, a produção média nacional foi de 571.581 toneladas em uma área média cultivada de 75.795 hectares, apresentando rendimento médio de frutos de 7.541 kg ha^{-1} (IBGE, 2006). Os maiores produtores foram os estados do Rio Grande do Sul (132.810 t), Bahia (75.949 t), São Paulo (68.330 t) e Goiás (54.194 t), que totalizaram 58% dos frutos produzidos no País (Tabela 1).

Tabela 1. Médias de área colhida, produção e rendimento de frutos nas principais regiões e estados produtores de melancia no Brasil (1990–2004).

Região/Estado	Área colhida (ha)	Produção (t)	Rendimento (kg ha^{-1})
Nordeste	29.718	172.181	5.794
Piauí	3.397	15.015	4.420

Região/Estado	Área colhida (ha)	Produção (t)	Rendimento (kg ha^{-1})
Ceará	535	3.091	5.778
Paraíba	363	2.103	5.793
Pernambuco	3.582	30.809	8.601
Sergipe	461	4.415	9.577
Bahia	11.660	75.949	6.514
Sul	21.652	179.123	8.273
Paraná	2.291	29.224	12.756
Santa Catarina	2.406	17.090	7.103
Rio Grande do Sul	16.955	132.810	7.833
Sudeste	8.755	78.448	8.960
Minas Gerais	1.109	8.952	8.072
Espírito Santo	118	709	6.008
Rio de Janeiro	145	739	5.097
São Paulo	7.431	68.330	9.195
Centro-Oeste	7.484	70.322	9.396
Mato Grosso do Sul	650	7.282	11.203
Mato Grosso	989	8.744	8.841
Goiás	5.838	54.194	9.283
Brasil	75.795	571.581	7.541

Fonte: IBGE (2006).

Apesar de o potencial produtivo da melancieira superar 50 t ha^{-1}, a produtividade média nacional é baixa (7,5 t ha^{-1}), podendo ultrapassar 30 t ha^{-1} em áreas irrigadas, como o Vale do São Francisco e outras regiões, onde se utilizam tecnologias de cultivo mais apropriadas (FILGUEIRA, 1981), relacionadas ao manejo do solo, da planta, da água e dos nutrientes.

A irrigação na cultura da melancia é uma prática vantajosa, possibilitando, em qualquer época do ano, a obtenção de maiores

produtividades e de melhor qualidade de frutos, permitindo a oferta de frutos em períodos de entressafra, quando os preços de mercado são mais atrativos. Resultados experimentais demonstram que, com o bom planejamento e manejo da irrigação e da fertirrigação da cultura, conseguem-se resultados satisfatórios em termo de produção e qualidade de frutos. Em condições de solos arenosos dos Tabuleiros Costeiros do Piauí e utilizando-se um manejo de irrigação com base na evaporação do tanque Classe A, Andrade Júnior et al. (1996, 1997a, 1998a) obtiveram produtividades em torno de 60 t ha^{-1}, com frutos apresentando excelente qualidade (10° brix a 12° brix).

A seguir, apresentam-se aspectos técnicos relativos à botânica e cultivares, ao clima, ao solo, aos diferentes métodos de irrigação, às necessidades hídricas, às estratégias de manejo econômico de irrigação, às exigências nutricionais e ao manejo de fertirrigação para a cultura da melancia, de forma a permitir a obtenção de elevadas produtividades, com frutos de excelente qualidade.

Botânica e cultivares

A melancieira pertence à família Cucurbitácea, ao gênero *Citrullus* e à espécie *Citrullus lanatus* (Thumb.). É originária da África tropical e aclimatada no Brasil (SOUZA et al., 1995). É uma planta anual, de haste sarmentosa e hábito de crescimento rasteiro. Suas ramificações, que podem atingir comprimento de até 3,0 m, são finas e não enraízam quando em contato com o solo, fixando-se apenas por meio de gavinhas (SOUZA et al., 1995). O sistema

radicular é extenso e distribui-se superficialmente, apresentando maior crescimento no sentido horizontal. A profundidade efetiva do sistema radicular, no estádio de frutificação da cultura e para a maioria das condições de cultivo no território nacional, varia de 0,30 m a 0,40 m (MAROUELLI et al., 2001; SOUZA et al., 1995), podendo, dependendo do tipo de solo, atingir até 1,00 m de profundidade.

A floração é semelhante à das demais cucurbitáceas. Inicialmente surgem as flores masculinas e posteriormente, cerca de 7 a 10 dias, começa a emissão das flores femininas, que, menos numerosas, localizam-se geralmente no meio e nas extremidades das hastes. Tanto as flores femininas quanto as masculinas abrem-se logo ao nascer do sol e permanecem abertas durante todo o dia, porém, o maior índice de polinização ocorre pela manhã. O pólen apresenta-se como uma massa pegajosa, o que impede o transporte pelo vento, sendo as abelhas e as vespas responsáveis pela polinização (CARVALHO, 1999; FILGUEIRA, 1981).

Nas principais regiões produtoras, cultivam-se geralmente as variedades pertencentes aos grupos americano e japonês. As cultivares americanas (Charleston Gray, Fairfax, Crimson Sweet, Jubilee e Sunshade) apresentam frutos grandes, cilíndricos ou ovais, com até 0,60 m de comprimento e 0,30 m de diâmetro, massa entre 9 kg e 22 kg e muito saborosos. As cultivares japonesas (Pérola, Omaru-Yamato e Yamato-Sato) produzem frutos arredondados, com diâmetro entre 0,25 m e 0,30 m, massa de 8 kg a 10 kg e polpa mais rija que as americanas, sendo mais resistentes ao transporte a longas distâncias (CARVALHO, 1999; CASALI et al., 1982; FILGUEIRA, 1981).

Apesar de várias outras cultivares introduzidas no Brasil, como a ‘Suer Sweet’, ‘Sugar Baby’, ‘Madera’, ‘Spar Briget’, ‘Mirage’, ‘Jet Stream’ e as sem sementes, a maioria dos produtores prefere plantar a cv. Crimson Sweet pela maior facilidade de produção, menor exigência em cálcio e maior aceitação pelo consumidor brasileiro. Alguns híbridos importados encontram-se disponíveis aos produtores, porém, apresentam problemas de adaptação, como baixa produtividade e suscetibilidade aos principais estresses bióticos da cultura no País. Esses problemas, associados ao elevado preço da semente e ao desconhecimento do mercado, não têm estimulado a produção de melancia sem sementes (SOUZA et al., 2002).

Clima e solo

A melancieira é uma espécie de clima tropical, pouco tolerante a frio. Em regiões com dias mais longos e secos, percebe-se maior crescimento das hastes, maior disponibilidade de carboidratos, maior quantidade de açúcares nas folhas e desenvolvimento maior e mais rápido das folhas (WHITAKER; DAVIS, 1962).

A temperatura é o fator climático mais importante para a melancieira. Temperaturas inferiores a 12 °C praticamente paralisam o crescimento das plantas. A faixa de temperatura mais apropriada para o cultivo da melancieira situa-se entre 20 °C e 30 °C (SILVA, 1982). Temperaturas muito elevadas (> 40 °C) provocam o abortamento de flores. Quanto à umidade relativa do ar, Filgueira (1981) destaca que altos valores afetam negativamente a qualidade

dos frutos e favorecem o desenvolvimento de doenças fúngicas. Assim, no período chuvoso, o cultivo da melancieira fica limitado, pois, além da alta incidência de doenças, a produtividade nesse período é bastante reduzida, com frutos de qualidade inferior (SOUZA et al., 1995).

Os solos mais adequados ao plantio da melancieira são os de textura média, boa fertilidade e pH entre 5,0 e 6,8 (BARUQUI, 1982; CASALI, 1982). No entanto, em solos arenosos com uso de uma adequada correção, irrigação e fertirrigação, a cultura desenvolve-se e produz bem. Em solos pesados e compactados, reduz-se a aeração do solo, e o desenvolvimento radicular pode ser seriamente comprometido, com prejuízo ao rendimento e à qualidade de frutos.

Métodos de irrigação

O método de irrigação a ser utilizado depende das condições do solo, clima, topografia, suprimento hídrico disponível e nível tecnológico do produtor. Tradicionalmente, têm-se utilizado os métodos de irrigação por sulcos e por aspersão. No Nordeste brasileiro, é crescente a utilização de áreas irrigadas por gotejamento (ANDRADE JÚNIOR et al., 1998a). Na região do Projeto Formoso, em Tocantins, o sistema mais utilizado é o subsuperficial, no qual o fornecimento de água às plantas é feito pelo manejo do lençol freático.

A irrigação por sulcos reduz a ocorrência de doenças foliares, a podridão dos frutos e a infestação de plantas daninhas nas

entrelinhas da cultura. No entanto, quando utilizada sem nenhum critério técnico, apresenta baixa eficiência de irrigação (40% a 60%). Esse método de irrigação requer, para o adequado funcionamento e manutenções de eficiências de irrigação mais elevadas, condições específicas de solo (solos de textura franca e argilosa) e topografia plana. Podem-se conseguir melhores valores de eficiência de irrigação (≥ 60%) desde que sejam adotadas medidas visando ao melhor planejamento e manejo do sistema de irrigação por sulcos. A eficiência de irrigação representa a porcentagem de água que é disponibilizada para a planta em relação ao total aplicado.

A irrigação por aspersão, notadamente os sistemas por aspersão convencional e pivô central, apresenta melhor eficiência (70% a 90%) quando comparada à irrigação por sulcos, maior facilidade de manejo no campo e pode ser utilizada nos mais diversos tipos de solo e topografia do terreno. Entretanto, apresenta como desvantagens o fato de ter um maior custo inicial de investimento em equipamentos, favorecer o ataque de doenças foliares por promover o constante molhamento das folhas e criar um microclima favorável em razão da manutenção de uma alta umidade relativa do ar no dossel da cultura; e, como toda a superfície do solo é irrigada, propicia maior infestação de plantas daninhas na área de cultivo.

A irrigação por gotejamento apresenta maior eficiência relativa (85% a 95%) quando comparada aos demais métodos, sem favorecer o ataque de doenças foliares, como micosferela, antracnose e míldio, reduzindo muito a infestação de plantas daninhas na lavoura e possibilitando a obtenção de frutos de melhor qualidade. Contudo, propicia maior severidade de oídio que a aspersão, pois neste método a ação mecânica das gotas de água danifica as estruturas vegetativas e reprodutivas do patógeno. A principal desvantagem do

gotejamento é o elevado custo inicial de investimento, especialmente em relação à irrigação por sulcos.

O número de gotejadores por cova depende do espaçamento de plantio, do tipo de solo e, mais precisamente, do tamanho do bulbo molhado formado pelo gotejador. Quando a cultura é plantada em espaçamentos mais adensados (3 m x 1 m e 2 m x 1 m), pode-se optar pelo gotejamento em faixa contínua, com uma linha lateral por fileira de planta e gotejadores espaçados entre 0,30 m para solos de textura arenosa e 0,50 m para solos de texturas média e argilosa. Em espaçamentos maiores (3 m x 2 m e 2 m x 2 m), pode-se dispensar o uso do gotejamento em faixas e adotar dois gotejadores por cova.

Nos métodos de irrigação por aspersão e principalmente por gotejamento, há a possibilidade de se fazer a fertirrigação nitrogenada e potássica, propiciando o maior parcelamento dos nutrientes e a redução dos custos com mão de obra para aplicação desses nutrientes. Por permitir o maior parcelamento dos fertilizantes, é possível manter-se a disponibilidade dos nutrientes na solução do solo próximo aos níveis adequados, minimizando as perdas de nutrientes por lixiviação, notadamente o nitrogênio.

Necessidades hídricas

A exigência de água durante o ciclo da cultura da melancieira varia de 3.000 m^3 ha^{-1} a 5.000 m^3 ha^{-1} (CASTELLANE; CORTEZ, 1995), dependendo das condições climáticas, da duração do ciclo e do

sistema de irrigação. A cultura apresenta um consumo de água diferenciado ao longo de seu ciclo, cuja exigência aumenta do início da ramificação até a frutificação, quando a deficiência hídrica atrasa o crescimento da planta e diminui o tamanho dos frutos. No estádio de máxima demanda, o consumo diário por planta pode variar entre 15 L e 25 L.

Embora a cultura seja moderadamente tolerante à deficiência hídrica, a falta de água prejudica a produtividade e a qualidade de frutos. Os estádios mais críticos são o florescimento e a formação da produção (crescimento de frutos), seguida do período de rápido desenvolvimento de ramas (DOORENBOS; KASSAM, 2000). Deficit de água durante o estádio de desenvolvimento de ramas reduz a área foliar; durante o florescimento e o pegamento de frutos, diminui o número de frutos por planta; durante a formação da produção, prejudica o tamanho de frutos. Entretanto, o excesso, além de propiciar condições favoráveis à disseminação de várias doenças, pode favorecer um crescimento vegetativo excessivo em detrimento dos frutos, principalmente quando associado às doses elevadas de nitrogênio.

A exigência de água da cultura durante o estádio de maturação reduz-se sensivelmente cerca de 25% a 30% em relação ao estádio anterior. Além da economia de água e energia, a redução da quantidade de água aplicada é decisiva para otimizar o teor de sólidos solúveis totais dos frutos. O excesso de água pode provocar rachaduras e acarretar redução do teor de açúcares, tornando os frutos aguados (EPAGRI, 1996). Rachaduras também podem ser favorecidas por variações bruscas do teor de água no solo a partir da fase de crescimento de fruto.

Manejo técnico de irrigação

Define-se manejo técnico de irrigação como a forma de aplicação de procedimentos técnicos, utilizando-se os mais diferentes métodos e equipamentos possíveis, visando unicamente atender à demanda hídrica da cultura no momento adequado, sem preocupação com a viabilidade econômica dessa prática.

Em quaisquer dos métodos de irrigação adotados, o manejo “técnico” da água (quando e quanto irrigar) poderá ser efetuado pela utilização de instrumentos simples como tensiômetros, que expressam a “força” da água que está retida pelo solo e permitem estimar indiretamente a quantidade atual de água no solo; de tanques evaporimétricos como o Classe A, cujas medições possibilitam estimar a demanda evapotranspirativa da cultura, permitindo o cálculo da lâmina de irrigação a ser aplicada ao longo do ciclo da cultura (ANDRADE JÚNIOR et al., 1996); além de outros equipamentos mais sofisticados (TDR, sonda de nêutrons e sondas de capacitância elétrica), cuja utilização e precisão de informações dependem do grau de eficiência exigido no controle das irrigações, sendo seu uso recomendado apenas em áreas experimentais.

Para maximizar a produtividade de frutos, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão de água no solo estiver entre 25 kPa e 50 kPa (HEGDEL, 1987), sendo o maior valor para os estádios mais críticos ao deficit hídrico e/ou para irrigação por sulcos. Para gotejamento, especialmente em solos de texturas média e arenosa, as irrigações devem ser realizadas em regime de maior frequência (10 kPa a 20 kPa). Em termo de água disponível no solo, deve-se irrigar quando as plantas consumirem entre 40% e 70% da água

total, sendo o menor valor para os estádios mais sensíveis ao deficit de água (floração e formação da produção) (MAROUELLI et al., 2001). No gotejamento, adotar um fator de reposição de água (f) entre 0,2 e 0,3.

Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para a estimativa da evapotranspiração da melancieira irrigada por aspersão e sulcos são: 0,40 durante o estádio de estabelecimento da cultura; 0,70 no de desenvolvimento de ramas; 0,85 durante o florescimento; 1,00 durante a formação da produção (frutificação); 0,75 no estádio de maturação. Durante a fase inicial, o valor de Kc é dependente do intervalo entre irrigações, devendo-se adotar 1,00 para turno de rega de 1 dia, 0,80 para 2 dias e 0,60 para 3 dias (ALLEN et al., 1998; MAROUELLI et al., 2001). Para irrigação por gotejamento, o valor de Kc deve ser ajustado em razão de o sistema não molhar toda a superfície do solo, o que reduz a evaporação de água.

Estudos realizados na Embrapa Meio-Norte, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí, indicam a evapotranspiração da cultura (ETc) para melancieira irrigada por gotejamento, que pode ser estimada a partir da evaporação do tanque Classe A (ECA) por meio das seguintes relações: ETc = 0,40 ECA durante as fases inicial, vegetativa e maturação; ETc = 0,80 ECA durante a floração e formação da produção (RODRIGUES et al., 2000). Nas mesmas condições, Andrade Júnior et al. (1996, 1997a, 1997b, 1998b) verificaram que frutos de maior massa ($\geq$ 6 kg), de melhor qualidade (10% a 12% de açúcar) e maior produtividade comercial (59,4 t ha^{-1} a 63,7 t ha^{-1}), da cultivar Crimson Sweet, foram obtidos com a aplicação de uma lâmina de água de 317 mm a 492 mm, correspondente a 0,56 e 0,74 da evaporação do tanque Classe A.

Em regiões semiáridas, a água de irrigação pode ser salina e prejudicar a cultura por causa da salinização gradativa do solo. Em tais condições, deve-se aplicar uma fração de água em excesso para manter o balanço adequado de sais na zona radicular (AYERS; WESTCOT, 1991). Na suspeita de água salina, sugere-se que o produtor procure um técnico para avaliar a situação e recomendar uma estratégia de manejo.

Manejo econômico de irrigação

Atualmente, é crescente a preocupação com a racionalização do uso da água para fins múltiplos, tais como produção agrícola, na irrigação, geração de energia, indústria e consumos humano e animal, notadamente nas regiões cujos recursos hídricos disponíveis, superficiais ou subterrâneos, encontram-se praticamente esgotados, em termos qualitativos e quantitativos, pelo menos nas épocas mais críticas do ano. Nessas regiões, já é patente e preocupante o conflito pelo uso múltiplo da água entre esses diversos setores.

A prática da irrigação sempre foi tida como a “grande vilã” quando o assunto é o uso racional dos recursos hídricos. De certa forma, essa mística é verdadeira quando se constata que, em várias áreas irrigadas, tanto públicas como privadas, não existe um programa de manejo racional da água de irrigação das diversas culturas exploradas e tampouco se verifica uma preocupação técnica com essa situação.

Em um cenário dessa natureza, em que o uso competitivo da água é cada vez mais evidente, são extremamente importantes estudos voltados para a definição de critérios para o manejo econômico de irrigação. A priori, a adoção de qualquer um dos métodos de manejo técnico de irrigação, anteriormente mencionados, em uma determinada cultura, só deve ocorrer caso o manejo econômico de irrigação aponte alternativas viáveis.

Para a definição do manejo econômico de irrigação, é necessário que sejam conceituados os seguintes parâmetros: a) lâmina máxima (Wm) – lâmina de irrigação que permite a obtenção da máxima produtividade física; b) lâmina ótima (Wo) – lâmina de irrigação que permite a obtenção da máxima produtividade econômica, possibilitando alcançar a maior receita líquida para dada combinação entre preço do produto e custo da água de irrigação; c) lâmina equivalente (We) – lâmina de irrigação que permite alcançar a mesma receita líquida obtida pela aplicação da lâmina máxima. O intervalo de manejo racional de irrigação compreende a faixa de possíveis valores de lâmina de irrigação “adotáveis” entre as lâminas máxima e equivalente. Para dada combinação entre preço do produto e custo da água de irrigação, a lâmina ótima oscila dentro desse intervalo. Maiores detalhes conceituais e as equações para cálculo dessas lâminas podem ser obtidos em Andrade Júnior et al. (2001) e English (1990).

Nesse enfoque, Andrade Júnior et al. (2001) definiram estratégias ótimas de manejo econômico da irrigação na cultura da melancia para as condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí, considerando-se a água como fator limitante da produção e diferentes preços do produto e custos da energia elétrica (Tabela 2). Essas estratégias ótimas foram obtidas usando-se a cultivar

Crimson Sweet em um espaçamento de 3 m x 2 m, com sistema de irrigação por gotejamento em faixa (emissores com vazão de 3,7 L h^{-1} e espaçados a cada 0,5 m). A produtividade média obtida nessas condições foi de 43.855,3 kg ha^{-1}. O custo de produção da cultura, excluído o custo da água de irrigação, foi de US$ 1.273,70 ha^{-1}.

Tabela 2. Estratégias de irrigação, lâminas totais (L) e respectivas receitas líquidas (RL) com as diferentes combinações do preço do produto e custo da energia elétrica na tarifa normal (US$ 0,2748 mm^{-1} ha^{-1}).

Estratégia de irrigação[(1)]	L (mm)	RL (US$ m^3)	L (mm)	RL (US$ m^3)	L (mm)	RL (US$ m^3)
	US$ 0,05 kg^{-1}		US$ 0,10 kg^{-1}		US$ 0,15 kg^{-1}	
Wm	356,2	0,24	356,2	0,85	356,2	1,47
Wo	260,3	0,28	170,2	1,17	126,7	2,18
We	190,2	0,24	81,4	0,85	45,1	1,47
	US$ 0,20 kg^{-1}		US$ 0,25 kg^{-1}		US$ 0,30 kg^{-1}	
Wm	356,2	2,09	356,2	2,70	356,2	3,32
Wo	98,0	3,29	75,9	4,47	56,1	5,75
We	27,0	2,09	16,1	2,70	8,8	3,32
	US$ 0,35 kg^{-1}		US$ 0,396 kg^{-1}		US$ 0,40 kg^{-1}	
Wm	356,2	3,93	356,2	4,50	356,2	4,55
Wo	36,0	7,16	3,4	8,94	-	-
We	3,6	3,93	0,0	4,20	-	-

(1) Wm – lâmina máxima; Wo – lâmina ótima; We – lâmina equivalente.

Para o preço médio do produto de US$ 0,15 kg^{-1}, o intervalo de manejo racional de água variou de 45,1 mm para a lâmina equivalente a 356,2 mm para a lâmina máxima. A lâmina ótima econômica foi de 125,7 mm, que proporcionou uma receita líquida de US$ 2,18 m^{-3} de água aplicada, com uma economia de água de

64,7% em relação à lâmina máxima (Tabela 2). Nesse caso, o produtor poderá adotar a irrigação com deficit e aumentar a área irrigada com o volume de água economizado. Essa estratégia é viável na faixa de variação de preços de fruto entre US$ 0,05 kg^{-1} e US$ 0,35 kg^{-1}.

Quando o preço do produto for superior a US$ 0,35 kg^{-1}, não é recomendável o manejo da irrigação com deficit, devendo-se aplicar a lâmina para produção máxima, uma vez que o cultivo de melancia se torna uma atividade de alto valor econômico, confirmando as recomendações de Doorenbos e Kassam (2000) e Yaron e Bresler (1983).

Para baixo preço do produto (US$ 0,05 kg^{-1}), a receita líquida de US$ 0,28 m^{-3}, obtida com a lâmina ótima de 260,3 mm, foi 16,7% superior à receita líquida de US$ 0,24 m^{-3}, proporcionada com a aplicação da lâmina para produção máxima de 356,2 mm, ou seja, para essa condição de preço do produto, a estratégia mais viável é aplicar a lâmina ótima de irrigação, com uma economia adicional de 95,9 mm na lâmina de irrigação.

No entanto, para elevado preço do produto (US$ 0,35 kg^{-1}), a receita líquida de US$ 7,16 m^{-3}, obtida com a lâmina ótima de irrigação de 36,0 mm, superou em 82,2% a receita líquida de US$ 3,93 m^{-3}, alcançada com a aplicação da lâmina para máxima produção de 356,2 mm, ou seja, quando o produto alcança preços mais atrativos ao produtor, consegue-se com a lâmina ótima uma receita líquida 82,2% superior à obtida com a lâmina máxima, com uma economia adicional de 320,2 mm. Apesar de, pelo menos teoricamente, ser mais atrativa essa estratégia de manejo, na prática sua adoção fica bastante prejudicada já que a aplicação de

uma lâmina de apenas 36,0 mm, ao longo do ciclo da cultura, torna-se quase inviável em termos técnicos. Esse comportamento mostra apenas que, dentro do intervalo de preços definido para o manejo racional de irrigação (US$ 0,05 kg^{-1} a US$ 0,35 kg^{-1}), à medida que o preço do produto se eleva, torna-se mais recomendável a adoção da irrigação com deficit. Cabe ao produtor e/ou projetista definir qual a melhor estratégia de manejo econômico para sua situação específica. O preço do produto de US$ 0,05 kg^{-1} pode ser considerado um valor mínimo na análise de decisão sobre a viabilidade econômica da irrigação.

É inquestionável que a definição de estratégias ótimas de irrigação constitui uma ferramenta útil no processo de planejamento e tomada de decisão em agricultura irrigada. No caso específico da cultura da melancia, a adoção da irrigação com deficit, tanto pela utilização da lâmina ótima quanto equivalente, deve ser criteriosamente analisada em cada caso uma vez que a utilização de lâminas menores tende a reduzir o peso médio dos frutos, tornando-os não aceitáveis no mercado consumidor. O ideal é conciliar a produção a ser obtida com a irrigação com deficit e o aspecto qualitativo dessa produção, tendo em vista as preferências do mercado consumidor a ser atingido.

Andrade Júnior (2000) avaliou a viabilidade da irrigação suplementar da cultura da melancia sob riscos climático e econômico, nas condições edafoclimáticas da microrregião do litoral piauiense, utilizando diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. A Tabela 3 apresenta as estimativas das receitas líquidas nas diferentes combinações entre épocas de semeadura, nível de manejo da irrigação, com base na fração de água disponível no solo (f), e nível de riscos avaliados.

Tabela 3. Receitas líquidas para melancia (US$ ha^{-1}) em diferentes épocas de semeadura, níveis de manejo da irrigação e níveis de risco, Parnaíba, PI, 2000.

Época de semeadura	f(1)	Nível de risco (%)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
1º-jan.	0,2	3.443,30	3.500,02	3.549,78	3.597,21	3.643,92	3.690,73	3.738,20	3.786,74
	0,5	2.365,56	2.440,67	2.500,46	2.554,29	2.605,36	2.655,20	2.704,75	2.754,71
	0,8	1.532,37	1.623,86	1.692,88	1.752,87	1.808,34	1.861,47	1.913,54	1.965,45
15-jan.	0,2	3.528,88	3.586,29	3.636,72	3.684,81	3.732,19	3.779,70	3.827,88	3.877,17
	0,5	2.465,28	2.541,02	2.601,46	2.655,97	2.707,73	2.758,29	2.808,60	2.859,33
	0,8	1.661,45	1.761,13	1.836,08	1.901,06	1.961,06	2.018,45	2.074,65	2.130,64
1º-fev.	0,2	3.776,50	3.817,67	3.851,14	3.881,64	3.910,76	3.939,30	3.967,74	3.996,43
	0,5	2.658,67	2.734,82	2.790,80	2.838,47	2.881,83	2.922,78	2.962,42	3.001,51
	0,8	1.840,74	1.944,23	2.017,86	2.079,06	2.133,66	2.184,42	2.232,95	2.280,32
15-fev.	0,2	3.761,64	3.803,00	3.836,59	3.867,16	3.896,34	3.924,93	3.953,41	3.982,15
	0,5	2.641,74	2.719,56	2.776,65	2.825,20	2.869,30	2.910,91	2.951,16	2.990,84
	0,8	1.947,07	2.040,25	2.106,98	2.162,71	2.212,62	2.259,19	2.303,83	2.347,50
1º-mar.	0,2	3.723,04	3.784,09	3.837,34	3.887,94	3.937,68	3.987,48	4.037,92	4.089,47
	0,5	2.604,60	2.700,90	2.775,67	2.841,91	2.904,04	2.964,18	3.023,61	3.083,22
	0,8	1.874,82	1.995,40	2.085,07	2.162,23	2.233,07	2.300,53	2.366,37	2.431,77
15-mar.	0,2	3.687,37	3.746,81	3.798,89	3.848,49	3.897,32	3.946,25	3.995,85	4.046,58
	0,5	2.587,42	2.670,61	2.736,36	2.795,28	2.851,00	2.905,26	2.959,11	3.013,33
	0,8	1.751,78	1.871,66	1.960,57	2.036,93	2.106,93	2.173,52	2.238,44	2.302,89
1º-abr.	0,2	3.562,51	3.618,77	3.669,49	3.718,55	3.767,32	3.816,53	3.866,65	3.918,10
	0,5	2.375,44	2.456,65	2.521,44	2.579,88	2.635,39	2.689,63	2.743,62	2.798,08
	0,8	1.535,57	1.642,54	1.722,85	1.792,43	1.856,64	1.918,04	1.978,18	2.038,08
15-abr.	0,2	3.539,87	3.594,24	3.643,64	3.691,60	3.739,40	3.787,70	3.836,96	3.887,56
	0,5	2.323,52	2.398,47	2.458,85	2.513,65	2.565,92	2.617,15	2.668,25	2.719,89
	0,8	1.473,12	1.561,57	1.629,02	1.688,09	1.743,03	1.795,87	1.847,85	1.899,81
1º-maio	0,2	2.631,22	2.667,88	2.700,73	2.732,41	2.763,83	2.795,49	2.827,70	2.860,73
	0,5	1.620,33	1.668,52	1.707,20	1.742,20	1.775,51	1.808,08	1.840,51	1.873,23
	0,8	892,25	947,55	989,59	1.026,32	1.060,38	1.093,08	1.125,17	1.157,18
15-maio	0,2	2.625,25	2.662,78	2.696,24	2.728,41	2.760,26	2.792,30	2.824,88	2.858,26

Época de semeadura	f[1]	Nível de risco (%)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
	0,5	1.631,95	1.678,71	1.716,45	1.750,73	1.783,42	1.815,45	1.847,39	1.879,64
	0,8	889,57	939,02	977,08	1.010,59	1.041,87	1.072,02	1.101,72	1.131,42

[1] Fração f referente ao nível de manejo da irrigação.
Fonte: Andrade Júnior (2000).

Os valores de RL da atividade aumentaram à medida que o nível de risco variou de 5% a 40%. Em termos econômicos, a expectativa é que os retornos líquidos advindos de uma decisão tomada com um maior nível de risco sejam mais atrativos. Entretanto, a definição do nível de manejo a ser adotado em uma determinada época de semeadura depende do grau de aversão a riscos do produtor e, consequentemente, da expectativa de rentabilidade líquida desejada da atividade. Por exemplo, considerando-se a época de semeadura de 1º-jan., com manejo de irrigação f = 0,5 e nível de risco de 5%, a expectativa é que proporcione uma receita líquida de US$ 2.365,56 ha^{-1}. Isso significa que, em apenas 5% dos casos, as receitas líquidas esperadas serão inferiores a esse valor, desde que os outros fatores não sejam alterados. Caso o produtor tenha um grau menor de aversão a riscos, a rentabilidade líquida esperada, nessas mesmas condições, é de US$ 2.754,71 ha^{-1} (US$ 389,15 ha^{-1} a mais), porém, com possibilidade de insucesso em 40% dos casos.

Independentemente do nível de risco assumido, o cultivo de melancieira com irrigação suplementar foi mais indicado nas épocas de semeadura de 1º-fev., para níveis de manejo de irrigação referentes a f = 0,2 e f = 0,5, e 15-fev, para níveis de manejo referentes a f = 0,8. No entanto, devem-se evitar as épocas de

semeadura de 1º-maio e 15-maio, por causa das menores receitas líquidas auferidas nessas épocas em todos os níveis de risco, resultantes da ação combinada entre os menores valores para os preços de venda e produtividade da cultura.

As receitas líquidas obtidas indicaram o ponto de máxima eficiência técnica que não coincidiu necessariamente com o de máxima eficiência econômica, ou seja, as receitas líquidas máximas foram obtidas com combinações entre época de semeadura e nível de manejo de irrigação diferentes daqueles que proporcionaram as produtividades máximas. Segundo Andrade Júnior (2000), um dos prováveis motivos para isso foi a incorporação do risco econômico, pela análise probabilística dos preços de venda dos produtos e das tarifas de consumo de energia elétrica, na estimativa das receitas brutas e do custo total de produção da cultura.

Pelas próprias características, a princípio, os estudos visando à definição de um manejo econômico de irrigação de uma determinada cultura podem parecer pontuais. Isso não poderia deixar de ser diferente já que as principais variáveis envolvidas no processo, tais como a função de produção água-cultura, os preços dos insumos e o custo da água de irrigação, são obtidas e/ou determinadas para cada situação específica. Entretanto, esses estudos podem ser perfeitamente regionalizados desde que essas variáveis possam ser obtidas e/ou consideradas representativas para toda a área de abrangência de um perímetro de irrigação, microbacia hidrográfica ou, até mesmo, região geográfica.

Fertirrigação

Demanda de nutrientes

A melancieira é uma das cucurbitáceas mais exigentes em relação à adubação. É uma cultura de ciclo fenológico relativamente curto. Na região Nordeste do Brasil, onde ocorre cerca de 30% da produção nacional, para a maioria das cultivares plantadas, o crescimento da planta é lento até os 15 dias após a germinação, mas logo depois se intensifica, atingindo maiores incrementos de crescimento entre 35 e 50 dias (Figura 1), e a maturação dos frutos ocorre entre 65 e 80 dias do plantio. Segundo as exigências nutricionais da melancieira, Nascimento et al. (1991) destacam os macronutrientes mais extraídos pela cultura até os 66 dias após o plantio nesta ordem: Ca > K > N > Mg > P.

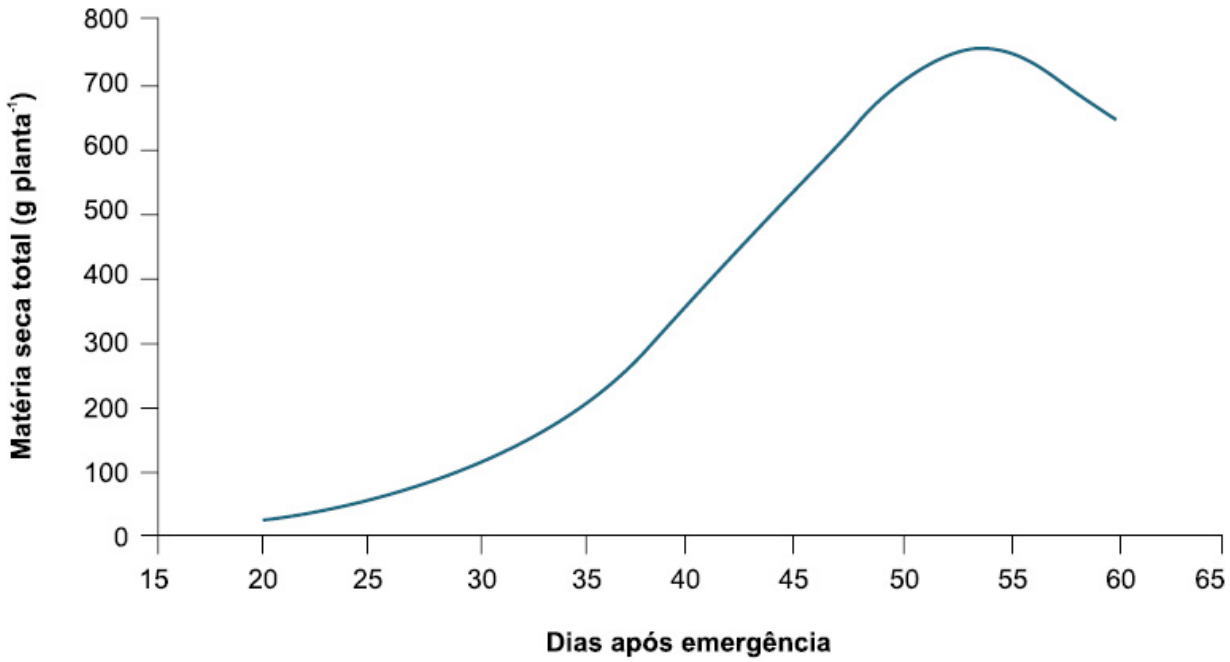


Figura 1. Acúmulo de matéria seca total pela melancieira.

Fonte: Embrapa Meio-Norte (1997).

No que se refere à absorção de nutrientes pela melancieira, Zhu et al. (1996) constataram que a extração é mínima logo após a germinação, aumentando em seguida, até atingir a máxima taxa no período de desenvolvimento dos frutos. Assim como verificado em outras cucurbitáceas, a absorção de nutrientes da melancieira segue a mesma tendência do acúmulo de matéria seca. Em trabalho realizado com a cv. Fairfax, Nascimento et al. (1991) verificaram que as plantas de melancia apresentam produção de matéria seca crescente até a fase de frutificação e o máximo acúmulo de N, P, K e Mg nas folhas ocorrendo aos 37 dias após a germinação. Segundo esses autores, a extração de nutrientes pela melancieira aos 37 dias é, respectivamente, da ordem de 28, 4, 14, 23 e 9 kg ha^{-1} de N, P, K, Ca e Mg (N>Ca>K>Mg>P) para uma população de 3.333 plantas ha^{-1}. O nitrogênio e o cálcio, além de mais absorvidos pela melancieira até os 37 dias, apresentaram acúmulos crescentes até os 66 dias, inclusive nas folhas, e entre 37 e 66 dias o acúmulo de cálcio foi mais acentuado. Com relação ao N, Mg e P, observaram que, a partir de 37 dias, o acúmulo foi quase constante.

No manejo adequado da fertirrigação, o ajuste das quantidades de nutrientes a serem aplicadas é muito importante para o bom desenvolvimento e produtividade da cultura. Para isso, o acompanhamento do estado nutricional da cultura por meio da diagnose foliar é necessário. Com os resultados da diagnose foliar e conhecendo-se os níveis adequados de nutrientes nas folhas da melancieira, pode-se tomar a decisão de ajustar ou não a adubação. De acordo com Malavolta et al. (1989), os níveis de nutrientes em folhas sadias de melancieira são 7,5 g kg^{-1} de $N\text{-}NO_3$, 2,5 g kg^{-1} de $P\text{-}PO_4$ e 50 g kg^{-1} de K.

Cada nutriente desenvolve um importante papel no crescimento, na produção e na qualidade dos frutos das culturas, desde que aplicados em quantidades adequadas de forma que mantenha o equilíbrio desejado entre eles. O nível ótimo de um nutriente no solo depende da presença de outro, tal como observado por Sundstrom e Carter (1983) quando estudaram o efeito de diferentes doses de potássio combinadas com doses de cálcio na melancieira.

Doses de nutrientes recomendadas

As doses de nutrientes recomendadas para a melancieira variam muito de local para local em razão do tipo de solo, da densidade de plantio e das próprias condições de manejo da cultura. Faria (1998), observando a literatura disponível, constatou que as quantidades de nutrientes indicadas e usadas para a cultura da melancia são muito variáveis: nitrogênio, entre 45 kg ha^{-1} e 200 kg ha^{-1} de N (média de 160 kg ha^{-1} de N); fósforo, de 30 kg ha^{-1} a 312 kg ha^{-1} de P_2O_5 (média de 128 kg ha^{-1} de P_2O_5); potássio, entre 30 kg ha^{-1} e 218 kg ha^{-1} de K_2O (média de 92 kg ha^{-1} de K_2O). Com base nessas informações e na produtividade esperada, podem-se estimar as quantidades de nutrientes a serem aplicadas.

Em relação à adubação nitrogenada, para determinar-se a quantidade de nitrogênio a ser aplicada, geralmente são tomados como base os resultados de pesquisas com experimentos que exprimam a resposta da planta no âmbito da adubação. Para o fósforo e o potássio, a recomendação baseia-se nas informações que relacionam a resposta da planta aos níveis de adubação em solos com teores diferentes do elemento em estudo, ou seja, calibração da análise de solo, havendo assim necessidade de

análise de solo para proceder à recomendação de adubação (FARIA, 1998; RAIJ, 1991).

Em experimentos com fertirrigação nitrogenada (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha^{-1} de N na forma de ureia) e potássica (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio), conduzidos nas condições edafoclimáticas de Parnaíba, PI, em Neossolo Quartzarênico, constatou-se que as aplicações de 98 kg ha^{-1} de N (ANDRADE JÚNIOR et al., 2006) e 92 kg ha^{-1} de K_2O (SAMPAIO et al., 2005) proporcionaram os maiores valores de peso médio de fruto comercial (8,9 kg e 9,1 kg) e produtividade comercial de frutos (60 t ha^{-1} e 58 t ha^{-1}) respectivamente. Entretanto, não houve resposta da cultura aos níveis de N e K_2O aplicados quanto aos parâmetros de qualidade dos frutos (pH, brix e acidez total titulável).

Em termos práticos, esses níveis ótimos de N e K_2O foram ajustados à curva de absorção de nutrientes durante o ciclo da cultura. Recomenda-se usar as doses de ureia e cloreto de potássio indicadas na Tabela 4.

Tabela 4. Quantidades de ureia e cloreto de potássio para fertirrigação de 1 ha de melancia em cultivo sob gotejamento – Parnaíba, PI, 2004.

DAE[(1)]	Ureia (kg)	KCl[(1)] (kg)	DAE	Ureia (kg)	KCl (kg)	DAE	Ureia (kg)	KCl (kg)
2	2,2	0,8	24	10,9	4,0	46	7,2	11,5
4	2,2	0,8	26	11,7	4,8	48	7,2	11,5
6	2,2	0,8	28	11,7	4,8	50	3,6	12,5
8	2,2	0,8	30	11,7	4,8	52	3,6	12,5
10	2,2	0,8	32	11,7	4,8	54	3,6	12,5
12	2,2	0,8	34	11,7	4,8	-	-	-
14	5,1	2,5	36	16,3	6,8	-	-	-
16	5,1	2,5	38	16,3	6,8	-	-	-

DAE[1]	Ureia (kg)	KCl[1] (kg)	DAE	Ureia (kg)	KCl (kg)	DAE	Ureia (kg)	KCl (kg)
18	5,1	2,5	40	16,3	6,8	-	-	-
20	10,9	4,0	42	16,3	6,8	-	-	-
22	10,9	4,0	44	7,2	11,5	-	-	-

[1] DAE – dias após emergência; KCl – cloreto de potássio.

O manejo da fertirrigação é feito dividindo-se o tempo de irrigação em quatro partes iguais. No primeiro quarto, efetua-se apenas a aplicação de água para o umedecimento inicial do solo. Nos dois quartos seguintes, processa-se a aplicação dos fertilizantes diluídos na água de irrigação. No último quarto, aplica-se novamente apenas água para a adequada distribuição dos fertilizantes no perfil do solo e para a lavagem do sistema de irrigação.

Sugere-se que o produtor solicite orientação técnica de um agrônomo para a adequada utilização da técnica da fertirrigação, notadamente quanto à escolha do método e dimensionamento hidráulico do sistema de injeção dos fertilizantes, manejo e cálculos das doses e do volume de solução, quando se utilizam outras fontes de nitrogênio e potássio. O cálculo do volume de solução (água mais fertilizante) a ser aplicado em cada fase de desenvolvimento da cultura é muito importante, para que sejam mantidos níveis adequados dos nutrientes na solução do solo, evitando assim problemas de salinização do solo e injúrias às plantas.

Na fertirrigação, como os nutrientes são aplicados às plantas já dissolvidos na água de irrigação, podendo-se parcelar tantas vezes quantas forem necessárias, a eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas é bem maior quando comparada com o sistema de adubação convencional via solo, o que mostra que as doses de

nutrientes aplicadas por fertirrigação devem ser diferentes daquelas geralmente recomendadas e usadas de forma convencional. No entanto, como não existem recomendações específicas de doses de nutriente para a maioria das culturas cultivadas sob fertirrigação, sugere-se adaptar recomendações existentes, ajustando-as com análises do solo e das folhas, para melhor definir as quantidades de nutrientes e fertilizantes na fertirrigação.

Na ausência de recomendação de doses de nutrientes para fertirrigação da melancieira, pode-se utilizar a Tabela 5, que apresenta as doses de nutrientes recomendadas para essa cultura, segundo os teores de P e K no solo e a textura do solo.

Tabela 5. Recomendação de adubação (N, P_2O_5 e K_2O), para a cultura da melancieira, pela análise de solo.

Teor de fósforo	Teor de fósforo (ppm) por tipo de textura do solo			Teor de potássio (ppm)		
				Baixo (< 45)	Médio (45–80)	Alto (> 80)
	Argilosa	Média	Arenosa	Quantidade de N – P_2O_5 – K_2O (kg ha^{-1})		
Baixo	(< 5)	(< 10)	(< 20)	120–200–120	120–200–80	120–200–60
Médio	(5–0)	(10–20)	(20–30)	120–150–120	120–150–80	120–150–60
Alto	(> 10)	(> 20)	(> 30)	120–100–120	120–100–80	120–100–60

Fonte: adaptado de Souza et al. (1995).

Para sistemas de produção sob fertirrigação, a adubação de plantio ou de fundação compreende a aplicação de matéria orgânica e fertilizantes químicos. Recomenda-se aplicar em torno de 5 L, por cova, de esterco de curral bem curtido, micronutrientes e todo o fósforo. Esses elementos devem ser distribuídos na cova de maneira uniforme e misturados bem com a terra, deixando-a bem nivelada de forma a favorecer uma boa distribuição de água na

superfície e no perfil do solo, evitando-se o acúmulo de água ou escorrimento superficial.

Em razão do pouco consumo de N e K durante a germinação das sementes, do uso de matéria orgânica na adubação de fundação e da possibilidade de aplicar nutrientes logo após a germinação das plantas, no cultivo da melancieira em regime de fertirrigação, tem-se aplicado todo o N e o K recomendados em cobertura via água de irrigação, pois esses nutrientes são de fáceis solubilidade e mobilidade no solo, perdendo-se facilmente por lixiviação, principalmente o nitrogênio.

Parcelamento do N e K

Para a realização de um bom manejo da fertirrigação, é necessário conhecer como ocorre a distribuição dos nutrientes ao longo do ciclo da cultura, que é determinada pela marcha de absorção de nutrientes. Na ausência desta, o acúmulo de matéria seca dá uma aproximação (SOUSA; COELHO, 2001). Na fertirrigação, pode-se parcelar a aplicação dos fertilizantes quantas vezes forem necessárias sem onerar os custos de mão de obra. Entretanto, para melhor eficiência dos nutrientes, o ideal é acompanhar a curva de absorção de nutrientes da cultura, de forma a fracionar racionalmente os elementos durante o ciclo conforme sua necessidade. A Tabela 6 apresenta a distribuição percentual para o parcelamento de nitrogênio e potássio, ajustado para ser aplicado em cobertura na melancieira, via água de irrigação, recomendado em áreas de produção e trabalhos desenvolvidos na região Meio-Norte do Brasil, em que 100% de nitrogênio e potássio são aplicados por fertirrigação.

Tabela 6. Distribuição percentual de nitrogênio (dpn) e potássio no ciclo da cultura da melancia.

Nutriente	Fase do ciclo (nº de dias por período após plantio)					
	0–15 (1)	16–30 (2)	31–45 (3)	46–60 (4)	61–75 (5)	76–80 (6)
	% (dpn)					
N	3	17	29	27	22	2
K_2O	2	7	26	28	31	6

Frequência de fertirrigação

As aplicações mais frequentes e em menores quantidades permitem reduzir as perdas de nutrientes, aumentam a eficiência do uso de fertilizantes e promovem o aumento da produtividade do meloeiro (PINTO et al., 1993; SOUSA; SOUSA, 1998), cultura com características de crescimento e absorção de nutrientes semelhantes à melancieira. Com relação ao nitrogênio, os efeitos da aplicação frequentemente são mais evidentes em virtude da sua facilidade de perda no solo, em especial nos solos de textura arenosa.

Para as culturas de ciclo curto, como a melancieira cultivada em solo de textura arenosa, a fertirrigação deve ser feita com frequência entre 1 e 3 dias. De fato, em experimentos conduzidos nas condições edafoclimáticas de Parnaíba, PI, em Neossolo Quartzarênico, onde se avaliou o efeito da aplicação de cinco frequências de aplicação (1, 2, 3, 4 e 5 dias) de N (80 kg ha^{-1}) e K_2O (80 kg ha^{-1}) sobre a produção comercial de frutos da melancieira, constatou-se que a aplicação de N e K_2O a cada 2 dias proporcionou maior produtividade comercial de frutos (76 t ha^{-1}), embora não tenha ocorrido diferença estatística entre os demais

tratamentos. Houve tendência de redução da produção e do número de frutos por planta, à medida que aumentou o intervalo de aplicação de N e K_2O, principalmente a partir da frequência de aplicação a cada 2 dias (DIAS et al., 2005).

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense**. 2000. 566 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; DIAS, N. S.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M.; RIBEIRO, V. Q.; SAMPAIO, D. B. Produção e qualidade de frutos de melancia à aplicação de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 118-123, 2006.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RODRIGUES, B. H. N. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 2, p. 301-305, 2001.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. **Níveis de água na cultura da melancia**. Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1996. 6 p. (EMBRAPA-CPAMN. Pesquisa em Andamento, 69).

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; BASTOS, E. A.; DUARTE, R. L. R.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. **Níveis de água na cultura da melancia**: II – resultados de 1996. Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1997a. 6 p. (EMBRAPA-CPAMN. Pesquisa em Andamento, 71).

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade e qualidade de frutos de melancia em função de diferentes níveis de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, n. 1, p. 43-46, 1997b.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; DUARTE, R. L. R. **A cultura da melancia**. Brasília,

DF: EMBRAPA-SPI; Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1998a. 86 p. (Coleção Plantar, 34).

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; FRIZZONE, J. A. Níveis de irrigação por gotejamento em melancia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais**... Lavras: SBEA: UFLA, 1998b. v. 1, p. 1-3.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BARUQUI, A. M. Solos para cucurbitáceas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 85, p. 21-22, 1982.

CARVALHO, R. N. de. **Cultivo de melancia para a agricultura familiar**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1999. 127 p.

CASALI, V. W. D.; SONNEMBERG, P. E.; PEDROSA, J. F. Melancia: cultivares e métodos culturais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 85, p. 29-32, 1982.

CASTELLANE, P. D.; CORTEZ, G. E. P. **A cultura da melancia**. Jaboticabal: Funep, 1995. 64 p.

DIAS, N. S.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUSA, G. A.; FERREIRA, V. M. Produção de melancia em diferentes freqüências de aplicação de N e K_2O sob fertirrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2005, Teresina. **Anais**... Teresina: ABID: Embrapa Meio-Norte, 2005. 1 CD-ROM.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 2000. 221 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Níveis de irrigação na cultura da melancia em solos de Tabuleiros Litorâneos**: relatório. Teresina, 1997.

ENGLISH, M. J. Deficit irrigation: I – Analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 116, n. 3, p. 339-412, 1990.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Normas técnicas para a cultura da melancia em Santa Catarina**: 1ª revisão. Florianópolis, 1996. 35 p. (EPAGRI. Sistemas de Produção, 24).

FARIA, C. M. B. **Nutrição mineral e adubação da cultura da melancia**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1998. 24 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 39).

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura**: cultura e comercialização de hortaliças. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. v. 2, p. 223-233.

HEGDEL, D. M. Effect of irrigation on fruit growth, development and mineral composition of watermelon. **South Indian Horticulture**, Coimbatore, v. 35, n. 5, p. 356-361, 1987.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp>. Acesso em: 15 jul. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Hortaliças, 2001. 111 p.

NASCIMENTO, V. M.; FERNANDES, F. M.; MORIKAWA, C. K.; LAURA, V. A.; OLIVIERA, C. A. de. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pela melancia (Citrulus lanatus (Thumb) Mansf.) em Latossolo da região de Cerrado. **Científica**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 85-91, 1991.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; CHOUDHURY, E. N.; PEREIRA, J. R. Adubação via água de irrigação na cultura do melão. **Pesquisa Agropecuária**

Brasileira, Brasília, DF, v. 28, n. 11, p. 1263-1268, 1993.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres: Potafos, 1991. 343 p.

RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A. **Níveis de água na cultura da melancia**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. 5 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 120).

SAMPAIO, D. B.; DANIEL, R.; ANDADRE JÚNIOR, A. S.; DIAS, N. da S.; FIGUEIREDO JUNIOR, L. G. M. de; CAVALCANTE, R. F. Produtividade de melancia sob diferentes níveis de potássio, em Parnaíba, PI.

In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2005, Teresina. **Anais**... Teresina: ABID: Embrapa Meio-Norte, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, J. W. Cucurbitáceas: influencia de alguns fatores climáticas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 85, p. 20-21, 1982.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 289-317.

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. de P. Efeitos da freqüência de aplicação de N e K por gotejamento na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 3, p. 36-45, 1998.

SOUZA, F. F.; QUEIRÓZ, M. A.; DIAS, R. C. S. Capacidade de combinação entre linhas tetraplóides e diplóides de melancia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 4, p. 654-658, 2002.

SOUZA, V. A. B. de; VIANA, F. M. P.; BARRIGOSSI, J. A. F. **Informações técnicas para o cultivo da melancia no Piauí**. Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1995. 36 p. (EMBRAPA-CPAMN. Circular Técnica, 14).

SUNDSTROM, F. J.; CARTER, S. J. Influence of k and Ca on quality and yield of watermelon. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 108, n. 5, p. 879-881, 1983.

WHITAKER, T. W.; DAVIS, G. N. **Cucurbits**: botany cultivation and utilization. London, GB: Leonardo Hill, 1962. 250 p.

YARON, D.; BRESLER, E. Economics analysis of on-farm irrigation using response functions of crops. In: HILLEL, D. (Ed.). **Advances in irrigation**. New York: Academic, 1983. v. 2, p. 223-255.

ZHU, H. X.; ZHANG, X.; SHEN, A.; SUN, C. H. Studies on the nutrient uptake and balanced fertilization of watermelon. **Acta Horticulturae Sinica**, Wageningen, v. 23, n. 2, p. 145-149, 1996.00

Capítulo 23

Irrigação e fertirrigação na cultura do melão

Valdemício Ferreira de Sousa
José Maria Pinto
Waldir Aparecido Marouelli
Eugênio Ferreira Coelho
José Francismar de Medeiros
Francisco José de Seixas Santos

Introdução

O retorno econômico do negócio do melão depende de uma série de fatores, entre os quais se destacam: o custo de produção, a produtividade, a qualidade de fruto, o preço de mercado e a comercialização. A cultura proporciona retorno rápido, e sua produção pode ser comercializada durante um período de apenas 60 a 80 dias após o plantio, com possibilidade de se obterem produtividades acima de 40 t ha^{-1}.

A obtenção de altas produtividades e de boa qualidade de frutos depende do uso de tecnologias de produção adequadas. A escolha da cultivar, a irrigação por gotejamento, a fertirrigação e o cultivo em alta densidade são exemplos de importantes tecnologias de ponta que podem ser adotadas pelo produtor, a fim de que se tenha sucesso na exploração.

Quando o cultivo do meloeiro é realizado, predominantemente, em regiões secas, a irrigação é prática essencial no sistema de produção. Outro aspecto importante para o sucesso da cultura do meloeiro sob irrigação por gotejamento é o uso efetivo da fertirrigação. Além de garantir maior eficiência no que diz respeito ao uso dos nutrientes pelas plantas, a aplicação de fertilizantes, via água de irrigação, minimiza o uso de mão de obra e a movimentação de homens e máquinas no campo, contribuindo para a conservação do solo.

Aspectos gerais da cultura

Originário dos continentes africano e asiático, o meloeiro foi introduzido no Brasil pelos imigrantes europeus. Seu cultivo teve início em meados da década de 1990 no Rio Grande do Sul. Até esse período, todo melão comercializado e consumido no Brasil era proveniente da Espanha. A partir da década de 1960, a exploração da cultura tomou grande impulso inicialmente no Estado de São Paulo, estendendo-se posteriormente para as regiões Norte e Nordeste (COSTA; PINTO, 1977; FERREIRA et al., 1982). No que se refere à área plantada e de produção, a exploração do melão atingiu seu apogeu a partir de meados da década de 1980 a meados da década de 1990.

A área plantada com a cultura do melão no Brasil é de 15.788 ha, e a produção anual chega a 340.464 t. Dados de produção dos últimos 10 anos têm mostrado que a região Nordeste responde por 83% da área colhida e por 93% da produção nacional de melão, que

tem encontrado nessa cultura um ótimo negócio para os produtores. Destacam-se como principais produtores de melão para exportação os seguintes estados: Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia e Pernambuco (IBGE, 2008).

Botânica

O meloeiro pertence à família Cucurbitacea, gênero *Cucumis* e espécie *Cucumis melo* L. As plantas têm hábito de crescimento rasteiro com ramos laterais e podem atingir até 3 m de comprimento. Possui raízes fasciculadas, abundantes e superficiais concentradas entre 0,20 m e 0,40 m de profundidade.

Para a maioria das cultivares no Nordeste brasileiro, a floração ocorre em dois períodos. Primeiramente, no período de 18 a 22 dias após a germinação, surgem as flores masculinas. Em seguida, 8 a 10 dias depois do surgimento das flores masculinas, aparecem as flores femininas, que se caracterizam por apresentarem ovário bem desenvolvido. As flores geralmente desenvolvem-se em ramos curtos originários das axilas dos ramos primários ou secundários, com emissão durante todo o ciclo da planta. As plantas de meloeiro podem ser monoicas, quando apresentam flores masculinas e femininas na mesma planta, ou andromoicas, quando apresentam flores masculinas e hermafroditas na mesma planta.

A polinização é aberta, e as abelhas são os principais agentes responsáveis por essa atividade. Uma boa produção de frutos depende de uma boa polinização das flores, uma vez que flores mal

polinizadas formam frutos deformados, os quais podem ainda ser abortados. Em termos gerais, é necessário que uma mesma flor seja visitada pelo menos cinco vezes para garantir uma boa polinização. Para manter um número ideal de abelhas na área de cultivo, é importante ter o máximo cuidado com as pulverizações. Assim, devem-se evitar produtos repelentes e tóxicos às abelhas e realizar as pulverizações sempre no final da tarde ou à noite, pois as flores abrem-se preferencialmente pela manhã, em cujo período as atividades das abelhas são mais intensas. Na ausência de abelhas para uma polinização natural adequada, esta deve ser feita de forma manual para garantir alta produtividade.

Após a polinização, os frutos iniciam o processo de formação, desenvolvimento e maturação. Esse período compreende, em média, um período de 20 a 30 dias. O início da colheita, nas condições do Nordeste, ocorre entre 55 e 60 dias e estende-se por um período que varia de 65 a 75 dias após a germinação.

Das dezenas de variedades de melão existentes, três se destacam do ponto de vista econômico: *Cucumis melo* var. *inodorus, Cucumis melo* var. *reticulatus* e *Cucumis melo* var*. cantalupensis* (DUSI, 1992).

A escolha da cultivar é uma das decisões mais importantes a serem tomadas pelo produtor para garantir o sucesso da exploração. O produtor deve observar o potencial produtivo, os ciclos vegetativo e produtivo da cultivar, as uniformidades do tamanho e do formato dos frutos, o sabor, o conteúdo de sólidos solúveis, a textura, as espessuras de polpa e de casca, a massa média de frutos, a resistência ao transporte, a conservação pós-colheita e o tipo de mercado a que se destinará a produção.

Clima

O clima ideal para o cultivo do meloeiro caracteriza-se por dias longos, livres de geadas, com bastante luz solar, calor e ar seco. Assim, dias e noites quentes, com baixa umidade relativa do ar, sem excesso de umidade no solo, como normalmente se verifica na região Nordeste, favorecem o desenvolvimento das plantas e contribuem para aumentar a produtividade e a concentração de açúcar dos frutos.

A temperatura é o fator climático mais importante para o desenvolvimento do meloeiro. Embora as plantas suportem temperaturas mais elevadas, a faixa térmica ideal de temperatura do ar para uma exploração comercial bem-sucedida situa-se entre 20 °C e 30 °C. Contudo, temperaturas próximas de 40 °C podem levar ao abortamento de flores. De acordo com Filgueira (2000), em regiões com temperatura do ar inferior a 15 °C e do solo abaixo de 18 °C, pode ocorrer paralisação do crescimento das plantas, aumento do ciclo e retardamento do início da colheita.

As temperaturas críticas mínimas no ambiente para o meloeiro são 15 °C para a germinação e de 12 °C a 13 °C para o crescimento. Por sua vez, temperaturas acima de 35 °C a 40 °C, além de paralisarem o crescimento, provocam o aborto de flores (BRANDÃO FILHO; CALLEGARI, 1999; PEREIRA; MARCHI, 2000). A quantidade total de graus-dia, do plantio até completar a maturação, varia de 2.500 a 3.000, o que representa, em algumas regiões, um ciclo entre 65 e 75 dias. Cerca de 1.000 graus de calor são requeridos da floração até a colheita do fruto (SILVA et al., 2000).

Em decorrência da propensão às doenças fúngicas e bacterianas, maior produção e qualidade de frutos ocorrem em condições de baixa umidade relativa do ar durante todo o ciclo de desenvolvimento. Por apresentar alta sensibilidade e susceptibilidade às doenças, é recomendável evitar seu cultivo em épocas chuvosas e de alta umidade relativa do ar. A umidade relativa do ar favorável durante o estádio de crescimento vegetativo é de 65% a 75% (BRANDÃO FILHO; CALLEGARI, 1999; PEREIRA; MARCHI, 2000); durante a floração, entre 60% e 70% e durante a frutificação, entre 55% e 65% (PEREIRA; MARCHI, 2000). Em ambiente protegido, a manutenção da umidade na faixa ideal pode ser conseguida com o manejo correto de cortinas, janelas e exaustores.

Solo

Embora possa ser cultivado em diferentes tipos de solo, os mais indicados para a cultura do melão são aqueles de textura franco-arenosa à areno-argilosa, leves, soltos, profundos, bem-drenados e com pH variando de 6,4 a 7,2 (FILGUEIRA, 2000).

Solos de textura arenosa, como aqueles presentes na região dos Tabuleiros Costeiros, também são considerados adequados ao cultivo do meloeiro. É nessa região que se situa cerca de 40% das áreas de produção de melão do Nordeste, como Mossoró e Assu, no Rio Grande do Norte. A topografia varia de plana a suave-ondulada, os solos são profundos e apresentam boa drenagem

natural, o que favorece melhor aeração e maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas (SOUSA et al., 1999b).

Solos argilosos, alagadiços, de difícil drenagem e compactados não são recomendados. O excesso de água no perfil, além de prejudicar o desenvolvimento das plantas, favorece o aparecimento de várias doenças.

O meloeiro é bastante exigente no que diz respeito a nutrientes. A cultura responde muito bem quando plantada em solos de alta fertilidade e de boa capacidade de troca catiônica. Análise do solo deve ser feita para avaliar a necessidade de correção do pH e elevar a fertilidade a níveis ideais.

Sistemas de irrigação

O meloeiro não tolera água nas folhas, portanto não deve ser irrigado via sistemas por aspersão. Os sistemas mais recomendados são por sulco e, principalmente, por gotejamento. O gotejamento, quando comparado aos demais sistemas de irrigação, é o mais adequado, uma vez que possibilita ótimas condições de manejo, aumenta a produtividade e a qualidade dos frutos, principalmente quando o cultivo é realizado em solo de textura arenosa (SOUSA et al., 1999b, 2000).

As características inerentes à irrigação por gotejamento, tais como alta eficiência, distribuição localizada da água na superfície ou abaixo da superfície do solo, sem causar alteração significativa do microclima, e manutenção do teor de água no volume molhado em

níveis próximos à capacidade de campo, têm permitido, em conjunto com outras tecnologias, a obtenção de produtividades comerciais em torno de 40 t ha^{-1} (SOUSA et al., 1999a).

No planejamento do sistema de irrigação por gotejamento, o conhecimento da dinâmica de água no bulbo molhado é fundamental, uma vez que permite conhecer a distribuição de água, detectar perdas, inferir a distribuição do sistema radicular e estimar o espaçamento entre emissores.

No dimensionamento de um projeto de irrigação por gotejamento em solos de textura arenosa, a aplicação de 10 L d'água por irrigação resulta num diâmetro molhado de 0,5 m para as vazões de 4 L h^{-1} e 8 L h^{-1}. A aplicação de 20 L resulta num diâmetro molhado médio de 0,7 m para as duas vazões, e a aplicação de 30 L resulta num diâmetro médio molhado de 0,84 m, a 0,2 m de profundidade (SOUSA et al., 1992; SOUSA; COELHO, 1997). Na ausência de resultados de experimentos locais com gotejadores de vazão de 4 L h^{-1}, a definição do diâmetro molhado pode ser baseada na Tabela 1.

Tabela 1. Diâmetro molhado (m) máximo estimado para gotejador de vazão de 4 L h^{-1} em diferentes perfis de solo.

Tipo de solo	Grau de estratificação do perfil		
	Homogêneo	Estrutura estratificada	Textura e estrutura estratificadas
Arenoso	0,5	0,8	1,1
Textura média (franco-arenoso a franco)	0,9	1,2	1,5
Argiloso-arenoso a argiloso	1,1	1,5	1,8

Fonte: Keller e Bliesner (1990).

Por permitir que as irrigações sejam realizadas em regime de alta frequência, o sistema por gotejamento possibilita que o teor de água do solo seja mantido em níveis próximos do limite superior de disponibilidade de água no bulbo molhado (capacidade de campo), e isso permite que a absorção contínua de água mantenha-se próxima da absorção potencial da planta. Para isso, maiores frequências de irrigação são desejáveis. Em solos arenosos, a frequência de aplicação de água deve ser no máximo de um dia, visto que a frequência de 12h (0,5 dia) acarreta ligeiro aumento em valor absoluto de produtividade, e não difere estatisticamente da produtividade obtida na frequência de um dia (SOUSA et al., 1999a, 2000).

As linhas laterais de gotejamento podem ser dispostas no campo de modo que representem significativa economia no uso da água, no custo de manutenção ou no custo inicial do projeto. No que se refere ao uso da água e ao custo de manutenção, a alternativa que se recomenda é o uso do gotejamento subsuperficial, no qual as linhas de gotejamento são enterradas a profundidades que variam de 0,20 m a 0,30 m. Os gotejadores, de fluxo turbulento nesse caso, devem ser preferencialmente do tipo “na linha” (*in-line*), com vazão próxima de 2 L h^{-1}. A vantagem de se enterrarem os gotejadores é a redução substancial das perdas de água por evaporação, o que eleva a eficiência de irrigação. Para solos arenosos, a profundidade de 0,20 m facilita a germinação das sementes, uma vez que o bulbo molhado chega a atingir a superfície do solo.

Profundidades de instalação entre 0,25 m e 0,30 m apresentam como desvantagem a necessidade de irrigação por aspersão durante os primeiros 10 dias após o plantio, a fim de que haja um adequado estabelecimento inicial da cultura. Nos solos de texturas

média e fina, tais profundidades permitem que os limites do volume molhado atinjam profundidades próximas da superfície do solo sem aflorar, o que facilita a germinação e dispensa o uso da aspersão.

Em relação à conservação e à manutenção, as linhas enterradas estão menos sujeitas aos danos na tubulação durante os tratos culturais. Experimentos executados em solos arenosos de Tabuleiros Costeiros mostraram produtividades do meloeiro sob gotejamento enterrado semelhantes àquelas obtidas com gotejamento superficial (COELHO et al., 1999). No Brasil, as regiões produtoras de melão utilizam mais os sistemas de irrigação por gotejamento superficial.

Necessidade hídrica

A necessidade hídrica do meloeiro varia em razão da demanda climática da região onde a cultura estiver sendo explorada. Em condições de intensa evaporação e em solos com baixa capacidade de retenção, a necessidade de reposição de água pode atingir de 300 mm a 500 mm durante o ciclo de produção. No entanto, Sousa et al. (1998, 1999a, 2000), nas condições climáticas da região de Tabuleiros Litorâneos do Piauí, encontraram consumo do meloeiro de 281 mm no ciclo de 65 dias.

A evapotranspiração da cultura do meloeiro expressa sua necessidade hídrica. Além disso, sua determinação depende do coeficiente de cultura (Kc). Doorenbos e Kassam (1984), Doorenbos e Pruitt (1984) e Marouelli et al. (1996) sugerem Kc médios para o

meloeiro: 0,40–0,50 (fase 1 ou inicial, da emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo), 0,70–0,80 (fase 2, do final da fase inicial até 70% a 80% do desenvolvimento vegetativo, início de floração), 0,95–1,05 (fase 3, do final da fase 2 até o início da maturação) e 0,65–0,75 (fase 4, do final da fase 3 até a colheita).

Existem vários métodos e modelos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), podendo-se utilizar o mais adequado à região ou o que for de mais fácil aplicação. Por se tratar de método de fácil manuseio e de custo relativamente baixo, o tanque Classe A constitui uma boa alternativa para a estimativa da ETo (equação 1) e, consequentemente, para estimar o consumo de água das culturas irrigadas.

$$ETo = Kp \times EVA \quad (1)$$

em que ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}), Kp o coeficiente do tanque e EVA a evaporação do tanque (mm dia^{-1}).

A partir dos valores de ETo estimados pela equação 1, determina-se o consumo de água para a cultura por meio da ETc (equação 2).

$$ETc = Kc \times ETo \quad (2)$$

em que ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}) e Kc o coeficiente de cultivo.

O coeficiente de cultivo relaciona a ETc com a ETo e permite estimar a demanda hídrica para o ciclo da cultura, requerendo assim o conhecimento de seus valores para cada fase de desenvolvimento. As fases de desenvolvimento da cultura do melão quanto às necessidades hídricas foram estabelecidas por Allen et al. (1998):

1. Estádio inicial – do plantio até 10% de cobertura do solo.

2. Estádio de desenvolvimento – 10% de cobertura até total cobertura do solo.
3. Estádio intermediário – do total estabelecimento da cultura até o início do amadurecimento dos frutos.
4. Estádio final – da maturação à colheita dos frutos.

Para as condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Meio-Norte, sob irrigação por gotejamento, os valores médios de Kc recomendados por Rodrigues e Sousa (1998) e Sousa et al. (1999b) nas quatro fases de desenvolvimento do meloeiro são: 0,52 para o período vegetativo (0 a 18 dias após a emergência das plantas – DAE); 0,88 para o período de floração (19 a 26 DAE); 1,13 para o período de formação da colheita (27 a 45 DAE) e 0,91 para o período de maturação (46 a 55 DAE).

Manejo de irrigação

No manejo de irrigação, devem-se destacar três questões fundamentais: quantidade de água por irrigação (determinada pela demanda hídrica da cultura), ao momento da irrigação (determinado de acordo com o estado da água na zona de concentração das raízes ou por meio da fixação do turno de rega) e seleção do método e do sistema de irrigação mais apropriado para a cultura e para as condições ambientais.

A determinação do momento da irrigação por meio do turno de rega fixo tem vantagens para os produtores irrigantes, pois permite programar e realizar outras atividades na cultura irrigada, tais como as pulverizações e outros tratos culturais.

Na utilização do turno de rega não fixo, o momento da irrigação pode ser definido com sensores que permitam determinar de forma indireta teores de água no solo, por meio da determinação da tensão de água no solo. Assim, é preciso também conhecer os limites adequados à cultura. Para o meloeiro, Doorenbos e Pruitt (1984) sugerem realizar manejo de água na cultura com tensões de água no solo em torno de 30 kPa a 80 kPa para as condições de irrigação por sulco e aspersão. Contudo, em solos de textura arenosa e média, melhores resultados podem ser obtidos quando a tensão de água no solo não ultrapassa a 30 kPa, e as tensões de 10 kPa a 15 kPa são as mais recomendadas para solos arenosos.

A lâmina de água a ser aplicada por irrigação deve ser determinada conforme a demanda evaporativa da cultura, o sistema de irrigação e a retenção de água do solo.

Mesmo quando se adota um turno de rega fixo, é importante também o monitoramento do estado da água no solo, na zona radicular da cultura. Isso permite fazer ajustes na quantidade de água aplicada, bem como nos valores de Kc utilizados, pois tais coeficientes podem variar em razão de diferentes fatores, como tipo de solo, sistema de cultivo, cultivar, condições climáticas e frequência de irrigação.

Entre os diversos sensores para o monitoramento do estado da água no solo disponíveis no mercado, o tensiômetro (Figura 1) é um dos mais utilizados. É um equipamento simples de ser utilizado, que permite avaliar, em tempo real, a tensão de água no solo, ou seja, o esforço que a planta necessita exercer para extrair água do solo.



Figura 1. Tensiômetros instalados junto às plantas de melão para leituras com medidor digital de tensão de água no solo.

Foto: Silvana da S. Cardoso

O número de tensiômetros a serem instalados no campo por setor depende, basicamente, da variabilidade do solo. Como regra, recomenda-se instalar numa bateria dois ou três tensiômetros correspondentes a duas profundidades (0,15 m e 0,30 m) ou três (0,15 m, 0,30 m e 0,45 m).

Pelo fato de promover uma distribuição não uniforme de água no bulbo molhado, a irrigação por gotejamento requer uma definição precisa do posicionamento dos sensores no que se refere à profundidade, à distância radial do gotejador e à concentração das raízes. Na cultura do melão sob gotejamento em solo arenoso, os tensiômetros devem ser posicionados a uma distância de 0,10 m a 0,15 m do emissor.

Demanda de nutrientes pelo meloeiro

O meloeiro é uma das cucurbitáceas mais exigentes em relação à adubação, em virtude principalmente de dois aspectos: ciclo fenológico relativamente curto e sistema radicular pouco desenvolvido. Na região Nordeste do Brasil, onde ocorre aproximadamente 95% da produção nacional, o crescimento da planta é lento até 15 dias após a germinação. A maior taxa de crescimento acontece entre 30 e 45 dias, e a maturação dos frutos ocorre entre 55 e 75 dias do plantio (Figura 2).

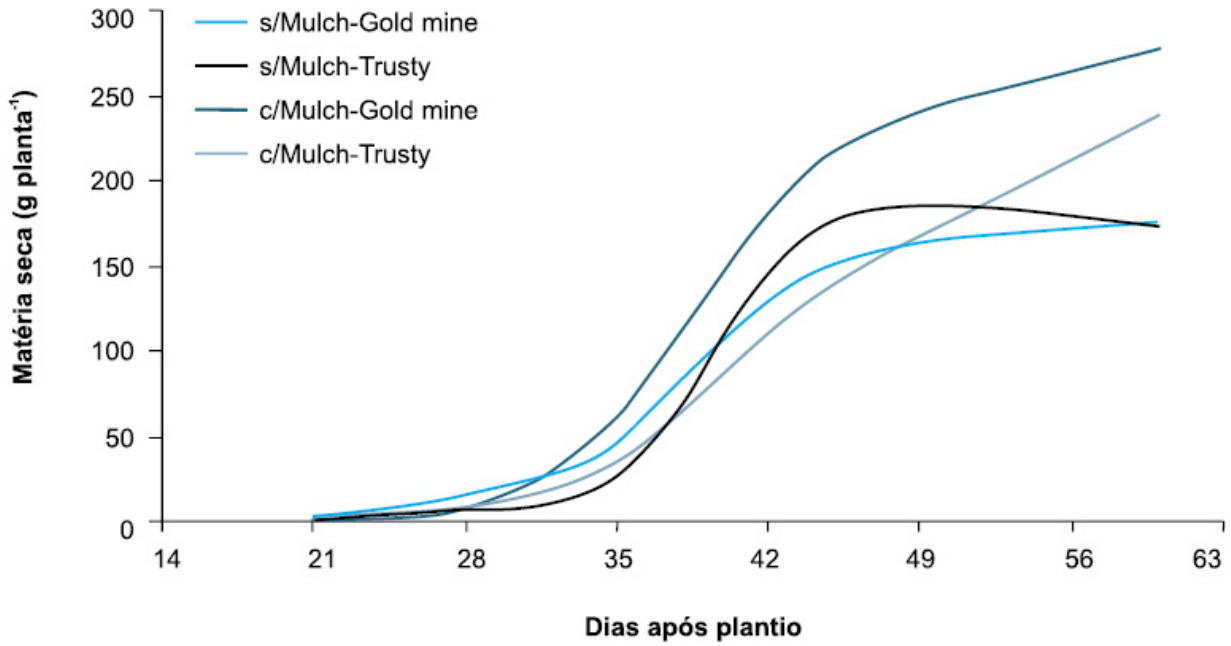


Figura 2. Acúmulo de matéria seca pelos meloeiros do tipo amarelo (híbrido Gold Mine) e do tipo cantaloupe (híbrido Trusty), sob cultivo com cobertura de solo com polietileno e sem cobertura.

Fonte: adaptado de Silva (2002).

Segundo as exigências nutricionais do meloeiro, o macronutriente mais extraído pela cultura é o K seguido por N, Ca, Mg, P e S

(BELFORT, 1985; SOUSA, 1993). Em relação aos micronutrientes, Belfort (1985) observou que o meloeiro ‘Valenciano Amarelo’ possui a seguinte ordem de extração total: Cu > Fe > Mg > Zn > B. Para o autor, o elevado teor de Cu pode ser atribuído a aplicações de algum produto com cobre durante o tratamento fitossanitário.

O ajuste das quantidades de nutrientes a serem aplicados é muito importante para o bom desenvolvimento e produtividade da cultura. Para isso, é necessário o acompanhamento do estado nutricional da cultura, por meio da diagnose foliar. Com os resultados da diagnose foliar, e conhecendo os níveis adequados de nutrientes nas folhas do meloeiro, pode-se tomar a decisão de ajustar ou não a adubação.

Cada macro e micronutriente desenvolve um importante papel no crescimento e na produção de frutos das culturas, desde que aplicados em quantidades adequadas de tal forma que se mantenha o equilíbrio desejado entre eles.

Nitrogênio – A importância que o nitrogênio exerce sobre a qualidade dos frutos é devida, provavelmente, ao seu controle na fisiologia (enzimas) do fruto. Os frutos de melão de plantas com deficiência de nitrogênio podem apresentar-se deformados, fracamente reticulados, com polpa mole e cor amarelo-clara. Por sua vez, os frutos provenientes de plantas sem deficiência são fortemente reticulados e possuem formato arredondado ou ligeiramente oval, polpa consistente de cor verde-mosqueada e amarelo-clara. O nitrogênio possui ainda influência positiva no que diz respeito ao brix, à massa e ao número de frutos de melão (PINTO; SOUSA, 2002).

Fósforo – Apresenta função importante na fase reprodutiva da planta, aumentando significativamente a massa e o número de frutos de melão. Apresenta ainda influência positiva no teor total de sólidos solúveis.

Potássio – O potássio é o elemento de maior mobilidade na planta, passando com facilidade de uma célula para outra e do xilema para o floema. O potássio é requerido em grande quantidade pelas plantas e tem o papel fundamental na translocação de assimilados para as diversas partes da planta, principalmente para os frutos, influenciando o rendimento e a qualidade do produto colhido (DALIPARTHY et al., 1994). A deficiência de potássio provoca redução no número de ramificações, no

comprimento e no diâmetro dos ramos, atraso na floração e redução no tamanho dos frutos. A menor área foliar das plantas reduz a fotossíntese e o conteúdo de sólidos solúveis nos frutos.

Cálcio e magnésio – O cálcio influencia na qualidade dos frutos de melão, por causa de sua função na estrutura da célula do fruto. O cálcio combina com a pectina, para formar pectato de cálcio na parede celular, resultando num fruto com polpa firme e consistente. Dessa forma, a aplicação de cálcio em quantidade adequada melhora a textura do fruto. Por outro lado, a deficiência de cálcio no solo pode provocar a fermentação dos frutos de melão, tornando-os imprestáveis para consumo. A importância do cálcio na qualidade dos frutos é afetada pela fonte fornecedora desse elemento.

Boro – Constata-se toxidez de boro para níveis a partir de 4 mg kg^{-1} no substrato do cultivo e de 800 mg kg^{-1} na folha madura da planta.

Molibdênio – A correção da deficiência é conseguida com aplicações foliares de solução de molibdato de sódio ou molibdato de amônio na concentração de 0,5 g L^{-1}. Como medida preventiva, são indicadas de duas a três pulverizações, com intervalos de uma semana, durante o estádio inicial da cultura. Deficiência de molibdênio, no Vale do Submédio São Francisco, pode ser encontrada com certa frequência em solos salinos, pesados, deficientes em drenagem e pobres em matéria orgânica, e essa situação se agrava quando ocorre adubação com excesso de sulfato de amônio.

Necessidades de nutrientes e recomendação de adubação

A necessidade de nutrientes pela cultura pode ser determinada com base na produtividade esperada e nas condições do solo. Para produzir uma tonelada de frutos, o meloeiro extrai em média entre 2,5 kg e 5,0 kg de N, entre 0,8 kg e 1,0 kg de P_2O_5 e entre 6,0 kg e 9,0 kg de K_2O (DOMINGUEZ VIVANCOS, 1993).

O planejamento e o manejo corretos da fertirrigação devem iniciar com os conhecimentos da planta, do solo e do clima, pois isso

permite a determinação da dosagem apropriada de nutrientes. Na determinação das doses de nutrientes é necessário conhecer: a) a extração pela cultura durante o ciclo ou as necessidades nutricionais para atingir uma determinada produtividade; b) as quantidades de nutrientes que o solo pode fornecer para a cultura; c) as quantidades de nutrientes existentes na água de irrigação; d) a eficiência global da adubação via fertirrigação nos diferentes sistemas de irrigação (PAPADOPOULOS, 1999; DOMINGUEZ VIVANCOS, 1993). Em síntese, as doses de nutrientes podem ser determinadas utilizando-se a equação 3.

$$Dn = \frac{qnex - qns - qna}{Ef_f} \quad (3)$$

em que Dn é a dose do nutriente (kg), $qnex$ a quantidade do nutriente exportado pela planta (kg), qns a quantidade do nutriente fornecida pelo solo (kg), qna a quantidade do nutriente fornecida pela água de irrigação (kg) e Ef_f a eficiência da fertirrigação.

A eficiência média da fertirrigação para aplicação de N, P e K é, respectivamente, 0,80 a 0,90, 0,50 a 0,60 e 0,8 a 0,85 (MONTAG, 1999).

Para estimar a capacidade de fornecimento de nutrientes de um determinado solo, é necessário conhecer os seguintes aspectos: a) profundidade do sistema radicular da cultura a ser explorada; b) densidade do solo; c) área do solo ocupado pelas raízes; d) nutrientes disponíveis, dados pela análise de solo; e) limite crítico de nutrientes, que é inerente a cada cultura. Com essas informações, utilizando-se as equações 4 e 5, calcula-se a massa de solo

ocupada pelas raízes (equação 4) e a quantidade de nutrientes disponíveis (equação 5).

$$ms = z \times d \times 10^4 \quad (4)$$

$$qnd = ms \times nd \times 10^3 \quad (5)$$

em que ms é a massa de solo ocupada pelas raízes (t ha^{-1}), z a profundidade do sistema radicular da cultura (m), d a densidade do solo (t m^{-3}), qnd a quantidade do nutriente disponível (kg ha^{-1}) e nd a quantidade do nutriente disponível apresentada na análise do solo (g t^{-1}).

Outra forma de quantificar as doses de nutrientes é utilizar as tabelas de recomendações de adubação específicas para cada cultura, tomando como base a produtividade esperada e os teores de nutrientes no solo.

Na Tabela 2, apresentam-se as quantidades de nutrientes recomendadas para o meloeiro, com base na produtividade esperada e nos teores de P e K no solo.

Tabela 2. Recomendação de adubação mineral para o meloeiro sob irrigação.

Produtividade esperada (t h^{-1})	N (kg ha^{-1})	P resina (mg dm^{-3})			K solo ($mmol_c$ dm^{-3})		
		0 a 25	26 a 60	> 60	0 a 1,5	1,6 a 3,0	> 3,0
		kg ha^{-1} P_2O_5			kg ha^{-1} K_2O		
< 20	80	160	120	80	200	160	100
20 a 30	100	200	160	100	250	200	140
> 30	140	240	180	140	300	240	180

Fonte: Crisostomo et al. (2002).

A produtividade esperada deve ser estimada com base no histórico da gleba ou de situações similares da região (CRISOSTOMO et al., 2002).

A adubação com micronutrientes também é estimada com base na análise do solo, de forma que excessos sejam evitados. O boro em excesso é muito prejudicial à cultura, podendo acarretar diminuição da produção (CRISOSTOMO et al., 2002). Na Tabela 3, apresenta-se a recomendação de adubação com micronutrientes para o cultivo do meloeiro.

Tabela 3. Recomendação de adubação com micronutrientes para o meloeiro.

Elemento	Teor no solo ($mg\ dm^{-3}$)	Dose de nutriente ($kg\ ha^{-1}$)
B (água quente)	0 a 0,6	1
	> 0,6	0
Cu (DTPA)	0 a 0,3	2
	> 0,3	0
Mn (DTPA)	0 a 1,5	5
	> 1,5	0
Zn (DTPA)	0 a 0,7	3
	> 0,7	0

Fonte: Crisostomo et al. (2002).

Doses e aplicação de nitrogênio e potássio

Vários trabalhos de pesquisa com fertirrigação têm procurado determinar as doses de nitrogênio e de potássio mais adequadas

para o meloeiro nas diferentes regiões produtoras do País. Para as condições do Submédio São Francisco em solos arenosos, com espaçamento da cultura de 1,8 m x 0,5 m, foi determinada a aplicação de 80 kg ha^{-1} de N e 90 kg ha^{-1} de K_2O, para uma produtividade esperada em torno de 40 t ha^{-1} (PINTO et al., 1996). Para as cultivares Eldorado 300 e Gold Mine, nas condições dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí, com espaçamento de 2,0 m x 0,2 m, em solo de textura arenosa e com produtividade de 44 t ha^{-1}, são recomendados 120 kg ha^{-1} de N e 130 kg ha^{-1} de K_2O. Para sistemas de produção sob fertirrigação, a adubação de plantio ou de fundação compreende a aplicação de matéria orgânica e adubos químicos. Recomenda-se aplicar de 30 t ha^{-1} a 40 t ha^{-1} de esterco de curral bem curtido, micronutrientes e fósforo. Distribui-se a mistura no sulco de maneira uniforme e, em seguida, mistura-se bem com a terra dentro do próprio sulco, deixando-o bem nivelado de forma que haja boa distribuição de água na superfície e no perfil do solo, evitando acúmulo de água ou escorrimento superficial, formando uma faixa molhada contínua e uniforme.

Em virtude do pouco consumo de N e K durante a germinação das sementes, do uso de matéria orgânica na adubação de fundação e da possibilidade de aplicar nutrientes logo após a germinação das plantas, no cultivo do meloeiro em regime de fertirrigação por gotejamento em solo arenoso, não se tem usado N e K na adubação de fundação. Isso ocorre porque esses nutrientes são de fácil solubilidade e mobilidade no solo, por isso se perdem com facilidade por lixiviação, principalmente o nitrogênio (COELHO et al., 2001; SOUSA et al., 1999b).

Marcha de absorção de nutrientes

De maneira geral, a taxa de absorção de nutrientes acompanha a produção de matéria seca da planta (PAPADOPOULUS, 1999; TYLER; LORENZ, 1964). Inicialmente, até aos 15 dias, a absorção de nutrientes é lenta. Depois, entre 30 e 60 dias, período compreendido entre poucos dias após o florescimento e a fase inicial de colheita, a absorção é mais rápida (Figura 3).

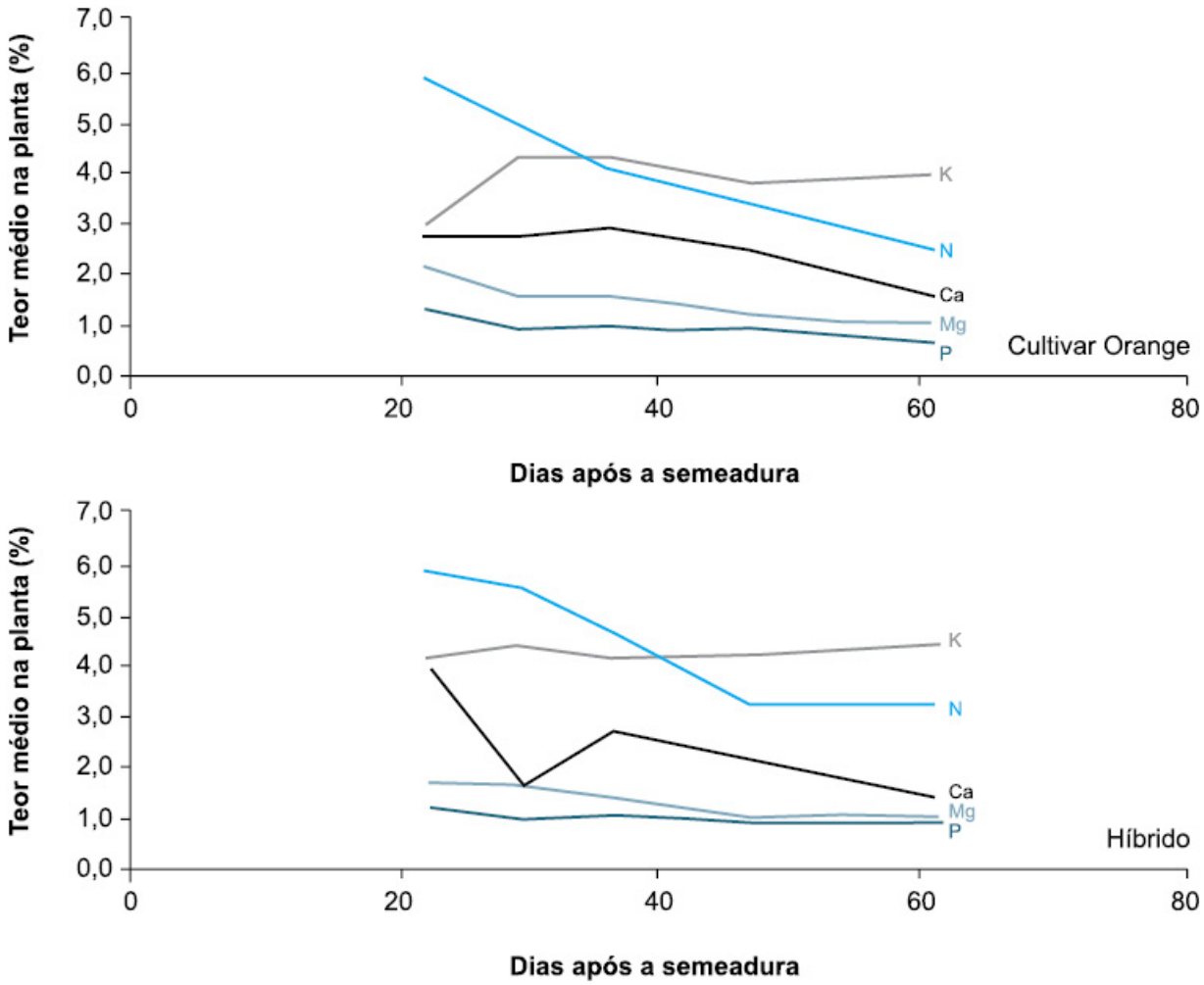


Figura 3. Teor de macronutrientes nas plantas de duas cultivares de melão ao longo do seu ciclo.

Para a realização de um bom manejo da fertirrigação, é necessário conhecer como ocorre a distribuição dos nutrientes ao longo do ciclo da cultura. Essa distribuição é determinada pela marcha de absorção de nutrientes. Quando não se dispõe dessa absorção, o acúmulo de matéria seca pela cultura permite fazer uma boa aproximação (SOUSA; COELHO, 2001). A Figura 4 apresenta a tendência de como ocorre a marcha de absorção de N, P e K pelo meloeiro, a partir de resultados obtidos por Bar-Yosef (1991) em Israel.

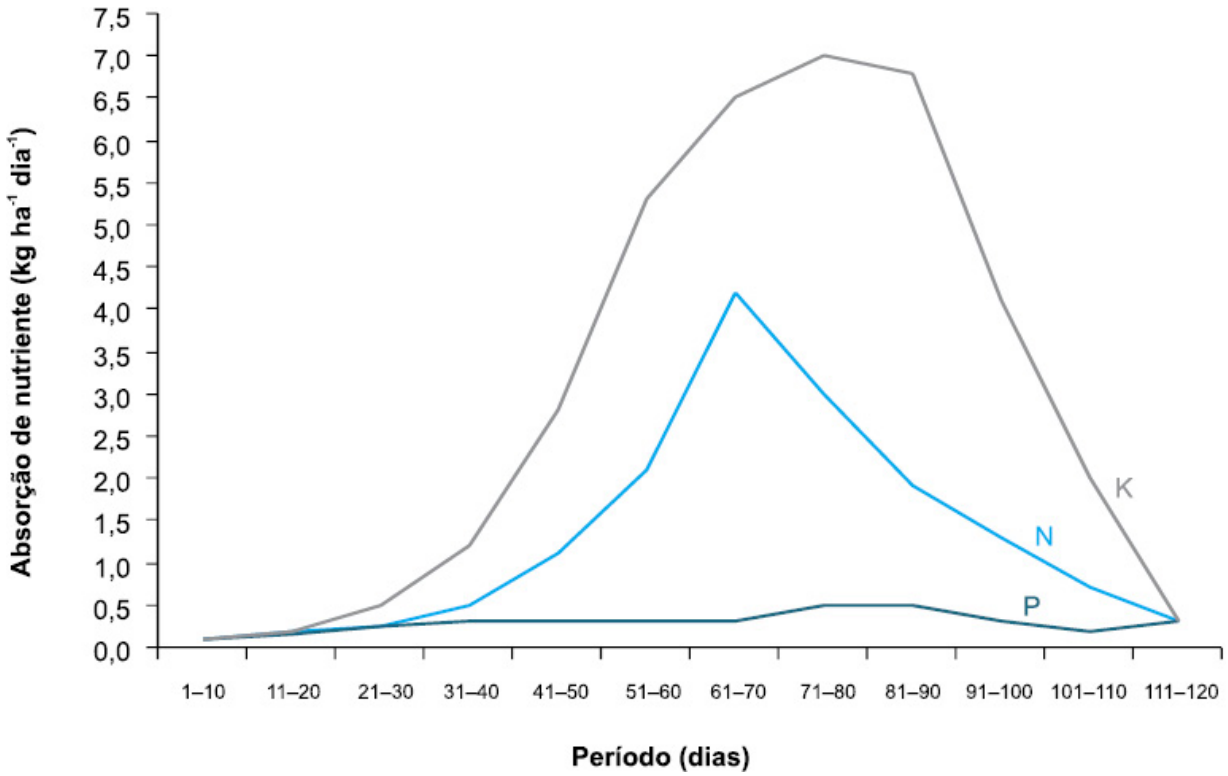


Figura 4. Marcha de absorção de N, P e K pelo meloeiro.

Fonte: adaptado de Bar-Yosef (1991).

A fertirrigação permite parcelar a aplicação dos fertilizantes quantas vezes forem necessárias sem onerar os custos de mão de obra. Entretanto, para melhor eficiência na aplicação, o ideal é

acompanhar a curva de absorção de nutrientes da cultura de forma a fracionar racionalmente os elementos durante o ciclo, conforme a necessidade. A Tabela 4 apresenta a distribuição percentual para parcelamento de nitrogênio e potássio, aplicados em cobertura no meloeiro, via água de irrigação ajustada, e adotada nos cultivos em solos arenosos da região Meio-Norte do Brasil, que considera 100% do nitrogênio e potássio aplicado em cobertura por fertirrigação.

Tabela 4. Distribuição percentual de fertilizantes N e K nas fases do ciclo da cultura do meloeiro cultivado em solo arenoso da região Meio-Norte.

Nutrientes	Ciclo da cultura (dias)							
	1–6	7–13	14–20	21–27	28–34	35–41	42–48	49–55
	Quantidade relativa de nutrientes (%)							
N	3	4	6	15	27	30	10	5
K_2O	2	3	5	10	17	20	28	15

Com base em informações de Burt et al. (1995) e Scaife e Bar-Yosef (1995), Pinto e Sousa (2002) apresentaram um esquema de distribuição percentual de nutrientes para o meloeiro sob fertirrigação por gotejamento, considerando-se solos de textura arenosa e argilosa (Tabela 5). Nesse caso, considerou-se a aplicação de 10% a 20% de nitrogênio e potássio, 40% a 60% de cálcio e 50% a 100% de fósforo.

Tabela 5. Distribuição percentual de nitrogênio, potássio, cálcio e fósforo a ser aplicada via fundação e fertirrigação, ao longo do ciclo de desenvolvimento do meloeiro irrigado por gotejamento, para cultivares de ciclo inferior a 70 dias.

Nutriente	Aplicação em fundação	Aplicação por gotejamento
		Ciclo (dias)

		1–7	8–14	15–21	22–28	29–35	36–42	43–49	50–56
	Quantidade relativa de nutrientes em solos textura de fina (%)[1]								
N	20	2	3	5	10	20	20	15	5
K_2O	20	2	3	5	10	20	20	15	5
Ca	60	0	0	0	10	10	10	10	0
P	100	0	0	0	0	0	0	0	0
	Quantidade relativa de nutrientes em solos textura de grossa (%)[1]								
N	10	3	5	5	15	21	21	15	5
K_2O	10	3	5	5	15	21	21	15	5
Ca	40	0	0	10	10	15	15	10	0
P	60	0	5	5	10	10	10	0	0

[1] Percentual de nutriente a ser aplicado em cada fase da cultura em relação à quantidade total recomendada.
Fonte: adaptado de Burt et al. (1995) e Scaife e Bar-Yosef (1995).

Os demais macro e micronutrientes devem ser aplicados como adubação de fundação. Em solo arenoso, ao optar por esse esquema, é conveniente aplicar todo o nitrogênio recomendado para fertirrigação.

Frequência de fertirrigação

Uma das maiores vantagens da fertirrigação é a possibilidade da aplicação dos nutrientes recomendados de forma parcelada. Tanto o parcelamento quanto a frequência de aplicação de nutrientes, bem como a quantidade de fertilizantes por aplicação, dependem da marcha de absorção de nutrientes pela cultura nos seus diferentes estádios de desenvolvimento (SOUSA; SOUSA, 1992, 1998).

Aplicações mais frequentes e em menores quantidades permitem reduzir as perdas de nutrientes, aumentar a eficiência do uso de fertilizantes e promover o aumento da produtividade do meloeiro (PINTO et al., 1993; SOUSA, 1993). No caso do nitrogênio, os efeitos da aplicação realizada com maior frequência são mais evidentes, em virtude de seu alto potencial de lixiviação, principalmente nos solos de textura arenosa.

Tanto a aplicação de fertilizantes quanto a irrigação podem ser realizadas com a mesma frequência. Para culturas de ciclo curto como o meloeiro, a fertirrigação por gotejamento deve ser feita com a frequência de 0,5 a 2 dias. No que diz respeito à aplicação de nitrogênio e potássio, Sousa e Sousa (1998) mostraram que a aplicação desses nutrientes com frequência de 2 dias resultou em maior produtividade comercial do meloeiro.

Aplicação da solução nutritiva

A aplicação da solução nutritiva na linha de irrigação deve ser iniciada quando todo o sistema estiver em pleno funcionamento, com todas as linhas cheias de água e pressurizadas. De maneira geral, recomenda-se iniciar a aplicação da solução nutritiva após 25% do tempo de irrigação. A aplicação da solução deve ser feita em 50% do tempo de irrigação, e os 25% restantes devem ser utilizados para a lavagem da tubulação. O tempo de fertirrigação nunca deve ser inferior a 30 minutos (FRIZZONE et al., 1985; SHANI, 1981); no entanto, avaliações de campo têm mostrado que a estabilização da concentração da solução nas linhas de irrigação

ocorre 22 minutos após o início da fertirrigação (SOUSA et al., 2000). Quando o tempo de duração da fertirrigação é muito curto, ocorre risco de baixa uniformidade de distribuição de fertilizantes na área a ser fertirrigada, e isso afeta o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

A aplicação de fertilizantes tradicionalmente usados em adubação convencional pode acarretar problemas de solubilidade. Sendo assim, deve-se dar preferência aos fertilizantes totalmente solúveis, próprios para fertirrigação. No caso do uso de bombas injetoras ou venturi, durante a injeção, pode-se manter a solução dentro do tanque aberto sob agitação contínua para evitar desuniformidade na distribuição de nutrientes na área ao longo do tempo. No caso da bomba injetora hidráulica, devem-se usar filtros na admissão da água à bomba e na mangueira de sucção. Terminada a fertirrigação, para assegurar que a bomba ficará totalmente limpa, deve-se mantê-la em funcionamento com água limpa por pelo menos 5 minutos. Pode-se ainda preparar a solução com antecedência, em um reservatório, deixando-a em repouso durante 20 a 30 minutos. Após esse período, transfere-se a solução sem resíduos para outro reservatório de onde será bombeada para o sistema de irrigação.

Monitoramento e controle da fertirrigação

O monitoramento da fertirrigação deve ser feito para avaliar o manejo em si, com base nos impactos causados no solo que

possam influenciar o desenvolvimento das plantas. Esse monitoramento deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes por meio da observação dos seguintes fatores: concentração da solução injetada, concentração da solução final na saída dos emissores, uniformidade de distribuição na área e distribuição dos nutrientes no perfil do solo.

O acompanhamento da concentração da solução injetada e de sua saída dos emissores deve ser feito com amostragens coletadas durante a aplicação. Para isso, deve-se medir a condutividade elétrica (*CE*) com um condutivímetro portátil, e observar a uniformidade de valores, os quais não devem estar muito diferentes do planejado.

A uniformidade de distribuição deverá ser feita a cada 2 meses para detectar possíveis entupimentos na tubulação e nos emissores. A uniformidade de distribuição adequada deverá estar acima de 90%. Os percentuais podem ser menores por diversas causas, tais como: variação de pressão no sistema de irrigação, vazamentos na tubulação, emissores com defeitos e/ou com entupimento. Ao constatar esses defeitos, as correções devem ser feitas imediatamente.

Em cultivos com fertirrigação, é muito importante realizar o acompanhamento da dinâmica ou da distribuição dos nutrientes no perfil do solo. Essa prática permite estabelecer ou ajustar a aplicação adequada dos fertilizantes bem como o manejo da água de irrigação, além de prevenir danos ambientais como a salinização dos solos e a contaminação do lençol subterrâneo e das fontes de águas superficiais. Esse acompanhamento pode ser feito por meio da condutividade elétrica e da concentração de íons no perfil do

solo, determinados em extrato de saturação do solo extraído de amostras de solo, ou ainda em solução do solo extraída com extratores apropriados. Os extratores são confeccionados com cápsulas porosas utilizadas em tensiômetros e são de fácil manuseio.

Na fertirrigação, deve-se realizar também a avaliação do estado nutricional das plantas, a fim de fazer as devidas correções e ajustes nas doses de nutrientes aplicadas. Nesse caso, a diagnose foliar – técnica importante para a fruticultura – tem sido utilizada pelos produtores de frutas. Para que essa ferramenta seja utilizada adequadamente, é necessário que se observe principalmente a época e a posição das folhas amostradas. Para a cultura do meloeiro, recomenda-se amostrar a sexta folha, a partir da ponta do ramo, no período de floração e/ou início de frutificação (MALAVOLTA et al., 1989).

Para fins de avaliação do estado nutricional das plantas de meloeiro por meio da diagnose foliar, Silva (1999) apresenta valores médios adequados de nutrientes em folhas do meloeiro (Tabela 6).

Tabela 6. Níveis adequados de nutrientes em folhas de meloeiro.

Nutriente	g kg^{-1}	Nutriente	mg kg^{-1}
Nitrogênio	25–50	Boro	30–80
Fósforo	3–7	Cobre	10–15
Potássio	25–40	Ferro	50–300
Cálcio	25–50	Manganês	50–250
Magnésio	5–12	Zinco	20–100
Enxofre	2–3		

Fonte: Silva (1999).

A partir dos resultados da diagnose foliar e da observação dos níveis adequados de nutrientes nas folhas do meloeiro, pode-se tomar a decisão de ajustar ou não a adubação. Os níveis de nutrientes em folhas sadias do meloeiro têm variações de acordo com a cultivar e com as condições de cultivo. Para o meloeiro cv. El Dorado 300, cultivado em regime de fertirrigação, Sousa (1993) e Sousa e Sousa (1994) encontraram as seguintes concentrações médias de macronutrientes nas folhas: 5,22% (N), 0,59% (P), 4,99% (K), 3,58% (Ca) e 0,71% (Mg). Concentrações médias de macronutrientes nas cultivares Orange Flesh e Trusty, obtidas para as condições de Mossoró encontram-se na Figura 5.

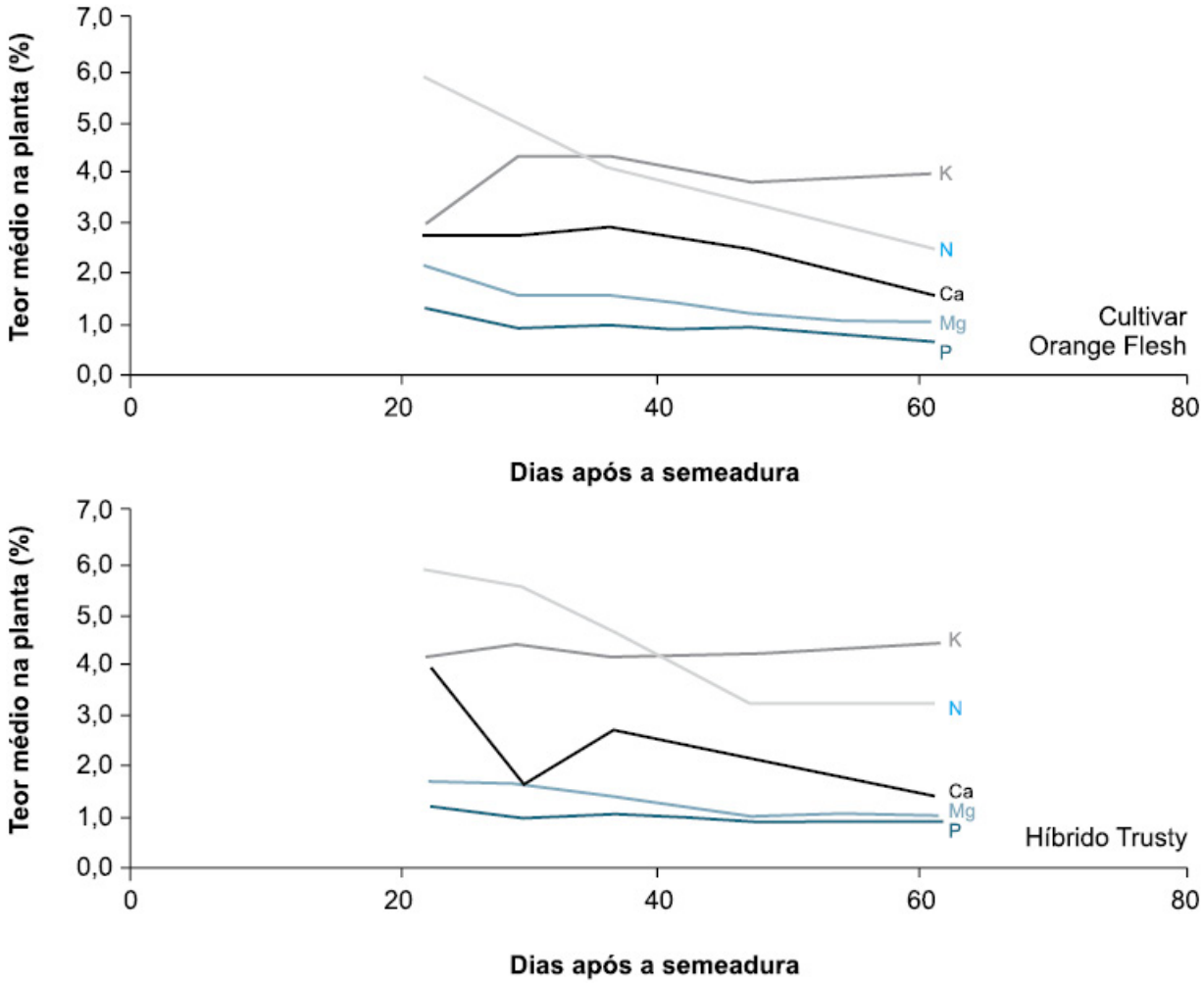


Figura 5. Teor de macronutrientes nas plantas de duas cultivares de melão ao longo do seu ciclo.

Fonte: adaptado de Duarte (2002).

Exemplo de cálculo da fertirrigação no meloeiro

Dados necessários

1. Cultura: melão
2. Área total (AT): 2 ha

3. Área do setor (*AS*): 0,5 ha
4. Frequência de fertirrigação (*F*): 2 dias
5. Tempo de fertirrigação (*Tf*): 1h
6. Sistema de irrigação: gotejamento

   Vazão do emissor (*qe*): 4 L h^{-1}

   Espaçamento entre emissores (*Ee*): 0,5 m

   Espaçamento entre laterais (*El*): 2,0 m

7. Densidade do solo (*d*): 1,5 g cm^{-3}
8. Profundidade da raiz (*z*): 0,3 m
9. Nutrientes disponíveis (*nd*)

   Nitrogênio (N): 0

   Fósforo (P): 0

   Potássio (K): 0,51 $Cmol_c$ dm^{-3}

10. Dose de nutrientes recomendada (*Dr*)

    Nitrogênio: 120 kg ha^{-1}

    Potássio: 200 kg ha^{-1}

11. Massa de nutriente existente na água de irrigação (*Mna*)

    Nitrogênio: 0

    Potássio: 0

12. Distribuição percentual de nutrientes no ciclo da cultura (*Dpn*) (Tabela 7)

Tabela 7. Distribuição de nutrientes no ciclo da cultura do melão.

Nutrientes	Fases do ciclo (dp – nº de dias por período)							
	1–6 (1)	7–13 (2)	14–20 (3)	21–27 (4)	28–34 (5)	35–41 (6)	42–48 (7)	49–55 (8)
	% (dpm)							
N	3	4	6	15	27	30	10	5
K_2O	2	3	5	10	17	20	28	15

Cálculos da necessidade de fertilizante

1. Massa do solo ocupada pelas raízes (*ms*)

$ms = z \times d \times 10^4$

em que: ms – t ha^{-1}; d – t m^{-3}; 1 g cm^{-3} = 1 t m^{-3}
z – m

$ms = 0{,}33 \times 1{,}5 \times 10^4 = 4.500$ t ha^{-1}

2. Massa de nutriente disponível no solo (*mns*)

$mns = ms \times nd \times 10^{-3}$

- Massa de nitrogênio disponível no solo (mNs): 0
- Massa de potássio disponível no solo ($m\mathrm{K_2O}s$)

$$m\mathrm{K_2O}s = \frac{4.500 \times 0{,}51 \times 0{,}0184}{15} = 28{,}15 \text{ kg ha}^{-1}$$

3. Dose de nutriente necessária (*Dnn*)

$$Dnn = \frac{Dr - mns - mna}{EFf}$$

EFf – Eficiência de fertirrigação = 0,9

DNn (dose de nitrogênio necessária):

$$DNn = \frac{120 - 0 - 0}{0{,}9} = 133{,}33 \text{ kg ha}^{-1}$$

$D\mathrm{K_2O}n$ (dose de potássio necessária):

$$DNn = \frac{200 - 28{,}15 - 0}{0{,}9} = 190{,}9 \text{ kg ha}^{-1}$$

4. Seleção do fertilizante

- Nitrato de potássio (46% de K_2O e 14% de N)
- Ureia (45% de N)

5. Massa total de fertilizantes (*MTf*)

$$MTf = \frac{Dnn}{Pnf} AT$$

- Nitrato de potássio

$$MTNP = \frac{190{,}94}{0{,}46} \times 2 = 830{,}17 \text{kg}$$

- Ureia

$$MTU = \frac{133{,}33 - 830{,}17 \times 0{,}14}{0{,}45} \times 2 = 76{,}03 \text{kg}$$

6. Número de setores (*Ns*)

$$Ns = \frac{AT}{AS} = \frac{2}{0{,}5} = 4$$

7. Massa de fertilizantes por setor (*Mfs*)

$$Mfs = \frac{MTf}{ns}$$

- Nitrato de potássio

$$MNPs = \frac{830,7}{4} = 207,5 \text{ kg}$$

- Ureia

$$MUs = \frac{76,03}{4} = 19$$

8. Número de aplicações no período do ciclo da cultura (Na)

$$Na = \frac{6}{2} = 3 \text{ aplicações}$$

9. Massa do fertilizante por aplicação (Mfa)

$$Mfa = \frac{Mfs \times dpm}{Na}$$

- Nitrato de potássio

$$Mfa\,(1 - 6)(1) = \frac{207,5 \times 0,02}{3} = 1,39 \text{ kg}$$

$$Mfa\,(7\text{ - }13)(2) = \frac{207{,}5 \times 0{,}03}{3} = 2{,}08\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(14\text{ - }20)(3) = \frac{207{,}5 \times 0{,}05}{3} = 3{,}47\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(21\text{ - }27)(4) = \frac{207{,}5 \times 0{,}10}{3} = 6{,}92\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(28\text{ - }34)(5) = \frac{207{,}5 \times 0{,}17}{3} = 11{,}76\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(35\text{ - }41)(6) = \frac{207{,}5 \times 0{,}20}{3} = 13{,}83\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(42\text{ - }48)(7) = \frac{207{,}5 \times 0{,}28}{3} = 19{,}37\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(49\text{ - }55)(8) = \frac{207{,}5 \times 0{,}15}{3} = 10{,}37\ \text{kg}$$

- Ureia

$$Mfa\,(1\text{ - }6)(1) = \frac{19 \times 0{,}03}{3} = 0{,}19\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(7\text{ - }13)(2) = \frac{19 \times 0{,}04}{3} = 0{,}25\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(14\text{ - }20)(3) = \frac{19 \times 0{,}06}{3} = 0{,}38\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(21\text{ - }27)(4) = \frac{19 \times 0{,}15}{3} = 0{,}95\ \text{kg}$$

$$Mfa\,(28\text{ - }34)(5) = \frac{19 \times 0{,}27}{3} = 1{,}71\,\text{kg}$$

$$Mfa\,(35\text{ - }41)(6) = \frac{19 \times 0{,}3}{3} = 1{,}9\,\text{kg}$$

$$Mfa\,(42\text{ - }48)(7) = \frac{19 \times 0{,}1}{3} = 0{,}63\,\text{kg}$$

$$Mfa\,(49\text{ - }55)(8) = \frac{19 \times 0{,}05}{3} = 0{,}32\,\text{kg}$$

Cálculos da solução fertilizante

1. Vazão do setor (*Qs*)

$Qs = ne \times qe$

em que *ne* é o número de emissores no setor,

$$ne = \frac{5.000}{0{,}5 \times 2} = 5.000$$

qe é a vazão do emissor = 4 L h^{-1} e *Qs* = 5.000 × 4 = 20.000 L h^{-1}

2. Taxa de injeção da solução fertilizante (*qi*)

$qi = ri \times Qs$

em que *ri* é a razão de injeção da solução fertilizante = 0,01 e *qi* = 0,01 × 20.000 = 200 L h^{-1}

3. Concentração do fertilizante na água de irrigação (*CFAI*)

$$CFAI = \frac{MFa \times 10^3}{(qi \times Tf) + (Qs \times Tf)}$$

- Nitrato de potássio

$$CFAI = \frac{1{,}38 \times 10^3}{(200 \times 1) + (20.000 \times 1)} = 0{,}0683 \text{ g L}^{-1}$$

- Ureia

$$CFAI = \frac{0{,}30 \times 10^3}{(200 \times 1) + (20.000 \times 1)} = 0{,}0148 \text{ g L}^{-1}$$

4. Concentração do fertilizante na solução a ser injetada (*CFSI*)

$$CFSI = \frac{CFAI}{ri}$$

- Nitrato de potássio

$$CFSI = \frac{0{,}0683}{0{,}01} = 6{,}83 \text{ g L}^{-1}$$

- Ureia

$$CFSI = \frac{0{,}00148}{0{,}01} = 1{,}48 \text{ g L}^{-1}$$

5. Volume de água necessário (*Va*) para preparar a solução fertilizante

- Nitrato de potássio

$$VaNP = \frac{MFa}{CFSI} = \frac{1.380}{6{,}83} \approx 202 \text{ L}$$

- Ureia

$$VaU = \frac{MFa}{CFSI} = \frac{190}{1{,}48} \approx 128 \text{ L}$$

6. Volume de água total (VT)

$$VT = VaNP + VaU = 202 + 128 = 330 \text{ L}$$

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome, IT: FAO, 1998. 297 p.

BAR-YOSEF, B. Fertilization undwe drip irrigation. In: PALAGRAVE, D. A. (Ed.). **Fluid fertilizer science and technology**. New York: M. Dekker, 1991. 633 p.

BELFORT, C. C. **Acumulação de matéria seca e recrutamento de nutrientes em melão (*Cucumis melo* L. cv Valenciano Amarelo CAC) cultivado em latossolo vermelho amarelo em Presidente Wenceslau-SP**. 1985. 72 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O. Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 64-68, 1999.

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

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.; SOUZA, V. A. B.de; ANDRADE, C. de L. T. de. Produtividade do meloeiro sob diferentes disposições de linhas laterais de

gotejamento em solo arenoso coeso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 309-315, 1999.

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F.de; SOUZA, V. A. B.de; MELO, F. de B. Efeito de níveis de N e K aplicados por gotejamento na cultura do meloeiro (Cucumis melo. L.) em, solo arenoso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 23-30, 2001.

COSTA, C. P.; PINTO, C. A. B. P. **Melhoramento de hortaliças**. Piracicaba: ESALQ, 1977. p. 164-178.

CRISOSTOMO, L. A.; SANTOS, A. A. dos; RAIJ, B. van; FARIA, C. M. B. de; SILVA, D. J. da; FERNANDES, F. A. M.; SANTOS, F. J. de S.; CRISOSTOMO, J. R.; FREITAS, J. de A. D. de; HOLANDA, J. S. de; CARDOSO, J. W.; COSTA, N. D. **Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o meloeiro no Nordeste**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 21 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 14).

DALIPARTHY, J.; BARKER, A. V.; MONDAL, S. S. Potassium fractions with other nutrients in crops: a review focusing on the tropics. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, p. 1859-1886, 1994.

DOMINGUEZ VIVANCOS, A. **Fertirrigación**. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1993. 217 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1984. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma, IT: FAO, 1984. 194 p (FAO. Riego y Drenaje, 24).

DUARTE, S. R. **Alterações na nutrição mineral do meloeiro em função da salinidade da água de irrigação**. 2002. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

DUSI, A. N. **Melão para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: DENACOOP, 1992. 37 p. (DENACOOP. Publicações Técnicas, 1).

FERREIRA, F. A.; PEDROSA, J. F.; ALVARENGA, M. A. Melão: cultivares e métodos culturais. **Informe Agropecuário**, Belo horizonte, v. 8, n. 85, p. 26-28, 1982.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402 p.

FRIZZONE, J. A.; ZANINI, J. R.; PAES, L. A. D.; NASCIMENTO, V. M. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: Unesp, 1985. 31 p. (Boletim Técnico, 2).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de recuperação automática**: SIDRA. 2008. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 31 maio 2010.

KELLER, J.; BLIESNER, R. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Chapman and Hall, 1990. 652 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa do Potássio e do Fosfato, 1989. 201 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo de irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1996. 72 p.

MONTAG, U. J. Fertigation in Israel. In: IFA AGRICULTURAL CONFERENCE ON MANAGING PLANT NUTRITION, 1999, Barcelona. [**Proceedings**]… Barcelona: [s.n.], 1999. 24 p.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-84.

PEREIRA, C.; MARCHI, G. **Cultivo comercial em estufas**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 118 p.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; CHOUDHURY, E. N.; PEREIRA, J. R. Adubação via água de irrigação na cultura do melão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 11, p. 1263-1268, 1993.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; PEREIRA, J. R.; COSTA, N. D.; BRITO, L. T. L.; FARIA, C. M. B.; MACIEL, J. L. **Sistema de cultivo de melão com aplicação de fertilizantes via água de irrigação**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Petrolina: EMBRAPA-CPTASA, 1996. 24 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 36).

PINTO, J. M.; SOUSA, V. F. de. Melão. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 122-128.

RODRIGUES, B. H. N.; SOUSA, V. F. de. Determinação da evapotranspiração máxima (ETm) e coeficiente de cultivo (Kc) para a cultura do melão nas condições dos Tabuleiros Costeiros do Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA RURAL, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais**... Poços de Caldas: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. v. 2, p. 339-341.

SCAIFE, A.; BAR-YOSEF, B. **Nutrient and fertilizer management in field grown vegetable**. Basel: International Potash Institute, 1995. 104 p. (IPI. Bulletin, 13).

SHANI, M. **La fertilizacion combinada com el riego**. Tel Aviv: Ministerio del Agricultura, 1981. 36 p.

SILVA, F. C. da. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SILVA, H. R.; MAROUELLIM, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA, L. A.; RODRIGUES, A. G.; SOUZA, A. F.; MAENO, P. **Cultivo do meloeiro para o norte de Minas Gerais**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2000. 22 p. (Circular Técnica, 20).

SILVA, M. C. C. **Crescimento, produção e qualidade de frutos de melão sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e coberturas de solo**. 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

SOUSA, V. F. de. **Freqüência de aplicação de N e K via água de irrigação pôr gotejamento no meloeiro (Cucumis melo L. cv. Eldorado 300) em solo de textura arenosa**. 1993. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”, Botucatu.

SOUSA, V. F. de; ANDRADE, C. L. T.; SOUSA, A. P.; AGUIAR NETTO, A. O. Redistribuição de água em solo de textura arenosa sob irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 21., 1992, Santa Maria. **Anais**... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 963-973.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F. Dinâmica de água num solo arenoso sob irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais**... Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. 1 CD-ROM.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 289-317.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Eficiência do uso da água do meloeiro sob diferentes freqüências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 183-188, 2000.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; OLIVEIRA, F. das C. Freqüência de irrigação por gotejamento na eficiência do uso da água no meloeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA RURAL, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais**... Poços de Caldas: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. v. 1, p. 214-216.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; SOUZA, V. A. B. Freqüência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 659-664, 1999a.

SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E. F.; VIANA, F. M. P.; SILVA, P. H. S. da. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no meio-norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1999b. 68 p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 21).

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. de P. Efeito da freqüência de aplicação de N e K por gotejamento no estado nutricional e na qualidade dos frutos do meloeiro (*Cucumis melo* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 10., 1994, Salvador. **Anais**... Salvador: ABID, 1994. p. 319-330.

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. de P. Efeitos de freqüência de aplicação de N e K por gotejamento na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 36-45, 1998.

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. P. Fertirrigação II: tipos de produtos, aplicação e manejo. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, v. 47, p. 15-20, 1992.

TYLER, K. B.; LORENZ, O. A. Nutrient absorption and growth of four muskmelon varieties. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 84, p. 191-195, 1964.

Capítulo 24

Irrigação e fertirrigação na cultura do pepino

Flávio Favaro Blanco

Introdução

O pepino (*Cucumis sativus* L.) é uma planta da família Cucurbitaceae, da qual também fazem parte outras hortaliças, tais como: abóbora (*Cucurbita* spp.), melão (*Cucumis melo* L.), melancia (*Citrullus vulgaris* Schrad), maxixe (*Cucumis anguria* L.) e chuchu (*Sechium edule* S.W.). É uma cultura de crescimento indeterminado que apresenta seu melhor desenvolvimento em condições de alta temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade e com suprimento ininterrupto de água e nutrientes (PAPADOPOULOS, 1994), o que faz da irrigação e da fertirrigação técnicas de elevado potencial para proporcionar maiores rendimentos em razão da possibilidade de aplicação de água e fertilizantes com alta frequência.

No mundo, segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) referentes ao ano de 2004 (FAO, 2005), o cultivo do pepino ocupa uma área de 2,3 milhões de hectares, sendo a produção total de 40 milhões de toneladas. A China é o maior produtor mundial de pepino e responde por 64% da

produção anual mundial, seguida pelo Turcomenistão e Irlanda; porém, as maiores produtividades são obtidas por países como a Holanda (715 t ha^{-1}), seguida por Dinamarca (400 t ha^{-1}), Reino Unido (315 t ha^{-1}), e França, Noruega e Islândia (acima de 120 t ha^{-1}). As maiores produtividades obtidas por esses países provavelmente estão relacionadas ao alto nível tecnológico empregado, uma vez que nesses países o cultivo em ambiente protegido é bastante utilizado no caso das hortaliças e, nesse sistema de cultivo, os manejos do clima e da irrigação/fertirrigação são automatizados, o que aumenta muito a eficiência do manejo e a resposta das culturas aos insumos.

No Brasil, o cultivo do pepino dá-se em pequenas áreas e a produção é destinada ao abastecimento do mercado interno, sendo inexpressivas as quantidades exportadas (FONTES; LIMA, 1993).

Para o cultivo em ambiente protegido, a fertirrigação pode promover um aumento de produtividade de 140 t ha^{-1}, obtido com a adubação tradicional, para 300 t ha^{-1} (PAPADOPOULOS, 2001). De fato, como observado acima, alguns países conseguem obter produtividades superiores à citada por esse autor; porém, no Brasil, não se têm relatos de produtividades tão elevadas. Blanco e Folegatti (2002a) obtiveram rendimento de 111 t ha^{-1} para o pepino enxertado cultivado em ambiente protegido sob fertirrigação. Essa produtividade é superior à obtida pelos produtores de pepino em ambiente protegido no Estado de São Paulo, que é de 50 t ha^{-1} a 80 t ha^{-1}, em média.

Em campo aberto, o pepino Aodai tutorado atinge produtividades de 70 t ha^{-1} a 100 t ha^{-1}, enquanto variedades rasteiras produzem em torno de 12 t ha^{-1} a 25 t ha^{-1} de frutos (FILGUEIRA, 1981). Silva

et al. (1979) obtiveram produtividades acima de 28 t ha^{-1} para o pepino tipo conserva no Vale do Itajaí, Santa Catarina.

Aspectos fisiológicos da cultura

A duração de cada estádio fenológico da cultura do pepino é muito variável de acordo com o tipo (caipira, aodai, japonês ou conserva) e com o método de cultivo e condução (campo aberto ou estufa, cultivo tutorado ou rasteiro). Nessa cultura, ao contrário da maioria das culturas anuais, as fases fenológicas confundem-se. O desenvolvimento vegetativo, a floração e o crescimento, e a maturação dos frutos ocorrem simultaneamente após o início do florescimento (Figura 1). A senescência dá-se enquanto a cultura ainda se encontra em fase de produção e o final do ciclo é definido pela redução, e não pela paralisação da produção.



Figura 1. Planta de pepino com frutos em ponto de colheita, frutos em desenvolvimento e flores em uma mesma planta.

Foto: Flávio Favaro Blanco

Fases fenológicas

Germinação

A germinação ocorre após 3 a 4 dias da semeadura, sob temperatura de 25 °C a 30 °C (WIEN, 1997), e o transplantio dá-se aos 8 a 10 dias após a semeadura para mudas produzidas em bandejas. Para semeadura direta, a germinação ocorre após 5 a 10 dias da semeadura. A temperatura ótima do solo para germinação é de 16 °C a 35 °C (LORENZ; MAYNARD, 1988). O pepino é uma das hortaliças que apresentam menor tempo para formação da muda, quando comparado com outras hortaliças, como alface, tomate e pimentão, cujas mudas são transplantadas aos 22 a 28 dias após a semeadura. Para o pepino enxertado, o tempo para formação da muda é consideravelmente maior (30 a 40 dias), pois o processo de enxertia e o pegamento do enxerto demandam certo tempo (Figura 2).



Figura 2. Muda de pepino, cv. Hokushin, enxertada sobre abóbora híbrida.

Foto: Flávio Favaro Blanco

Desenvolvimento vegetativo

O crescimento das plantas de pepino é bastante acelerado durante quase todo o ciclo da cultura, reduzindo o ritmo apenas nos estádios finais quando a planta inicia o processo de senescência. A Figura 3 mostra a curva de crescimento da cultivar Hokushin, enxertada sobre abóbora Excite Ikki, conduzida em um ambiente protegido no período de inverno-primavera, obtida por Blanco (1999). Pode-se verificar que o ritmo de crescimento foi praticamente contínuo até em torno de 80 dias após o transplantio, mas o crescimento foi drasticamente reduzido após esse período. De forma análoga, o índice de área foliar (*IAF*) também apresentou crescimento constante até o 63º dia após o transplantio, no entanto, a determinação realizada no final do ciclo da cultura apresentou ligeiro decréscimo do *IAF* em virtude da senescência de folhas e da redução do ritmo de crescimento da cultura.

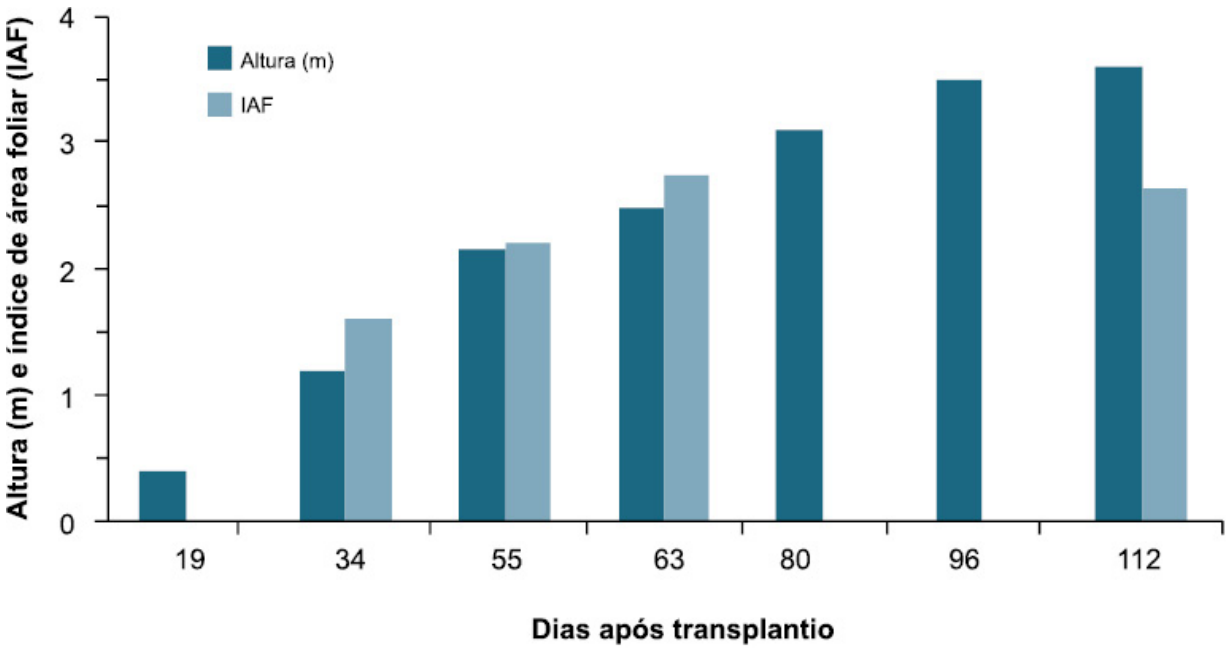


Figura 3. Altura das plantas e índice de área foliar de plantas de pepino, cv. Hokushin, enxertadas sobre abóbora híbrida Excite Ikki, em ambiente protegido, em diferentes épocas após o transplantio das mudas para o campo.

Fonte: adaptado de Blanco (1999).

Florescimento

O pepino é considerado uma planta neutra com relação ao fotoperíodo, isto é, inicia a floração sem depender do comprimento do dia, mas fotoperíodos curtos, baixa intensidade luminosa e baixas temperaturas aumentam a proporção de flores femininas (FILGUEIRA, 1981). Nitsch et al. (1952) verificaram que o fotoperíodo longo (16 horas) reduziu severamente o número de flores femininas e, em condições de temperatura elevada (30 °C), essas nem chegaram a se formar. Cantliffe (1981) estudou os efeitos de fatores do ambiente (intensidade luminosa, fotoperíodo e temperatura do ar) na alteração da expressão sexual das flores de diferentes cultivares e híbridos de pepino para conserva. Quando os fatores ambientais foram analisados isoladamente, verificou-se que

o aumento da intensidade luminosa resultou no aumento do número de flores femininas, as altas temperaturas (acima de 26 °C) favoreceram a formação de flores masculinas, enquanto o fotoperíodo não apresentou influência na expressão sexual das plantas. Entretanto, quando se estudaram as interações entre os fatores ambientais, as altas temperaturas geralmente levaram a uma redução do número de flores femininas, principalmente em baixa intensidade luminosa.

Os insetos apresentam papel importante na produção do pepineiro, pois são os agentes polinizadores, responsáveis pela fecundação da flor feminina e, consequentemente, pela formação dos frutos, visto que o grão de pólen do pepino não é transportado pelo vento. Essa foi uma grande dificuldade encontrada pelos primeiros produtores de pepino em ambiente protegido, pois a população de insetos no seu interior é bastante reduzida em relação ao ambiente externo. Atualmente, os híbridos cultivados em condições protegidas apresentam paternocarpia, isto é, os frutos desenvolvem-se mesmo na ausência de polinização da flor feminina, o que trouxe um aumento significativo da produtividade nessas condições de cultivo.

O florescimento ocorre entre 15 a 25 dias após o transplantio no campo, mas para o pepino enxertado o aparecimento das primeiras flores pode ser bastante antecipado (em torno de 7 a 10 dias), pois há um atraso na formação da muda, decorrente do processo de enxertia, a qual, ao ser transplantada no campo, já se encontra em um desenvolvimento fisiológico mais adiantado em relação à muda não enxertada. Trabalhando com pepino, cv. Hokuhoo, enxertado sobre abóbora, Cañizares e Goto (2002) verificaram que o início da floração ocorreu aos 24 dias após o transplantio; porém, as mudas

foram transplantadas 10 dias após a enxertia, sendo o tempo total de formação da muda de apenas 24 dias.

Produção e colheita

O início da colheita dá-se em torno de 33 a 40 dias após o transplantio (ambiente protegido) ou 40 a 70 dias após a semeadura (campo aberto) (BLANCO et al., 2002; CAÑIZARES; GOTO, 2002; FILGUEIRA, 1981; RESENDE et al., 2001; SOLIS, 1982; SONNENBERG, 1980), podendo variar de acordo com as condições ambientais e a cultivar ou o híbrido utilizado.

No cultivo tradicional, em campo aberto, geralmente cultivam-se o pepino tipo caipira, o Aodai e o pepino para conserva, cujo ciclo de cultivo é em torno de 90 dias. O ponto de colheita não é baseado no grau de maturação dos frutos, mas no tamanho deles. Para pepinos dos tipos Aodai e japonês, a colheita é realizada quando os frutos atingem 20 cm a 25 cm de comprimento. Já, para o grupo caipira, a colheita é realizada quando os frutos apresentam entre 10 cm e 15 cm; para o pepino conserva, entre 5 cm e 16 cm de comprimento (SONNENBERG, 1980). Para o cultivo em ambiente protegido, onde geralmente se cultiva o pepino do tipo japonês, o ciclo de cultivo varia de 60 a 90 dias para o pepino não enxertado, e de 100 a 140 dias para o pepino enxertado.

Efeitos do clima

Para se obterem desenvolvimento e rendimento satisfatórios, o pepino necessita de temperatura média mensal variando de 16 °C a 32 °C, sendo a faixa ótima de 18 °C a 24 °C (LORENZ; MAYNARD,

1988). Milthorpe (1959) demonstrou que a taxa de expansão foliar do pepino aumentou com a temperatura até 24 °C e reduziu drasticamente com a temperatura de 30 °C, o que foi atribuído à maior rapidez da taxa de divisão celular, com consequente redução do ciclo de divisão celular, além da inativação de alguns sistemas enzimáticos pelas altas temperaturas.

A temperatura tem efeito direto sobre o florescimento e a produção do pepino. Liebig (1981) demonstrou que a precocidade de produção do pepino é diretamente proporcional a altas temperaturas e intensidade luminosa, o que também foi observado por Medany et al. (1999). Marcelis e Hofman-Eijer (1993) verificaram que o tempo para que o fruto atingisse peso de 250 g desde o momento da abertura das flores foi de, aproximadamente, 7 e 15 dias para temperaturas constantes de 30 °C e 17,5 °C respectivamente. Esse fato é vivenciado diariamente pelos produtores de pepino em ambiente protegido, os quais, durante o verão, sob alta temperatura e luminosidade, chegam a realizar duas colheitas em um mesmo dia, uma pela manhã e outra no final da tarde, em razão do rápido crescimento dos frutos. Por sua vez, no período de inverno, quando a temperatura e a radiação solar são significativamente menores, realiza-se apenas uma colheita diária ou a cada 2 dias, pois o ritmo de crescimento dos frutos é bastante reduzido nessas condições. O número de frutos por planta também tem influência sobre a taxa de crescimento dos frutos, ou seja, quanto maior o número de frutos crescendo em uma planta, menor será a taxa de crescimento dos frutos em decorrência do efeito de competição (MARCELIS, 1993).

Akinci e Abak (1999) testaram diversas equações e verificaram que o melhor ajuste para o cálculo da soma térmica ou acúmulo de graus-dia, para previsão da maturação dos frutos de vários híbridos

de pepino para conserva e para salada, ocorreu quando foram consideradas temperaturas-base de 8 °C ou 12 °C. Para o híbrido Marinda, no Rio Grande do Sul, Buriol et al. (2001) verificaram que a soma térmica necessária durante o ciclo da cultura é em torno de 550 °C, considerando uma temperatura-base de 12 °C.

Qualidade da água e salinidade do solo

A adição de fertilizantes à água de irrigação resulta na elevação da concentração salina da água, o que aumenta o risco de salinização do solo, reduzindo o desenvolvimento e a produtividade das culturas em razão da redução do potencial osmótico da solução do solo e da toxidez causada por certos íons. O pepino é considerado uma cultura moderadamente tolerante à salinidade, cuja condutividade elétrica máxima tolerada é de 2,5 dS m^{-1} no extrato de saturação e, para cada aumento de 1 dS m^{-1} acima deste nível, a redução é de 13% na produtividade (MAAS; HOFFMAN, 1977).

Na irrigação por gotejamento, a maior concentração de sais dá-se nas bordas do bulbo molhado e a salinidade nas camadas mais superficiais do solo aumenta rapidamente (BLANCO; FOLEGATTI, 2002b). Com o passar do tempo, surgem crostas de sais na superfície do solo como resultado da evapotranspiração das plantas, ou seja, a água do solo, em seu fluxo ascendente, carrega consigo os sais presentes nas camadas mais profundas, os quais se acumulam na superfície do solo (Figura 4).



Figura 4. Crostas de sais (coloração esbranquiçada) na periferia da área molhada pelos gotejadores, em um cultivo de pepino em ambiente protegido.

Foto: Flávio Favaro Blanco

Chartzoulakis (1990), estudando os efeitos da salinidade da água de irrigação na cultura do pepino em ambiente protegido, verificou que a altura das plantas, a área foliar total, a produção de frutos e o peso de frutos decresceram e que os teores de sódio e cloreto nas plantas cresceram com o aumento da salinidade da água acima de 1,2 dS m^{-1}. Sonneveld e Voogt (1978) submeteram a cultura do pepino a irrigações com água de diferentes salinidades e verificaram que a redução na produção foi de 17% e 12% para o aumento de 1 dS m^{-1} na água de irrigação e no extrato de saturação do solo respectivamente. Por sua vez, Blanco (1999) utilizou águas de irrigação que chegavam a 5,2 dS m^{-1}, e o rendimento da cultura foi reduzido em 11% quando comparado com a água de 1,5 dS m^{-1},

não apresentando diferenças significativas de produtividade; o único componente de produção afetado foi o número total de frutos produzidos por planta, além das variáveis relacionadas ao desenvolvimento da cultura, como altura das plantas e índice de área foliar.

De modo geral, as culturas são mais sensíveis à salinidade no início do seu desenvolvimento, aumentando a tolerância após o início do período de produção, o que também é válido para o pepino (BLANCO; FOLEGATTI, 2000). Assim, maiores cuidados devem ser tomados no período de plantio e estabelecimento da cultura, devendo-se realizar a lavagem do solo precedendo o plantio e, se possível, utilizar água com baixa concentração salina no período que antecede o florescimento.

A resposta do pepino à salinidade do solo e da água de irrigação é variável e depende de fatores como a variedade, a cultivar ou o híbrido utilizado, as características do solo (fertilidade, textura, presença de lençol freático, etc.), os fatores ambientais (temperatura, umidade relativa e radiação solar) e o sistema de irrigação utilizado (sulcos, gotejamento e aspersão). Os valores e limites de tolerância apresentados por Maas e Hoffman (1977) podem ser utilizados para fins de definição dos critérios de manejo da cultura, quando esses valores não forem disponíveis para o local de interesse.

Alguns produtores de pepino do tipo japonês têm usado a enxertia como alternativa para o controle de nematoides e obtenção de frutos com maior brilho na casca (KAWAIDE, 1985). Oda (1995) afirma ainda que a enxertia proporciona maior tolerância das culturas à salinidade, bem como aumenta a capacidade de absorção de água

e nutrientes. Por ser uma técnica de alto custo, a enxertia só se justifica para a produção de pepino de alto valor comercial, como aqueles produzidos em ambiente protegido. Nos cultivos protegidos do Estado de São Paulo, a enxertia pode proporcionar um período de colheita de até 120 dias, sendo este de 50 a 70 dias, em média, para o pepino não enxertado (BLANCO, 1999).

De qualquer forma, em condições sujeitas à salinidade, é necessário que se faça uma análise de solo antes do plantio, para determinar se há necessidade de efetuar a lixiviação do excesso de sais. A aplicação da lâmina de lavagem pode ser feita pelo próprio sistema de irrigação; a lavagem realizada utilizando o sistema de irrigação por gotejamento geralmente apresenta bons resultados e grande economia de água em relação à recuperação por inundação (BLANCO; FOLEGATTI, 2001).

Irrigação da cultura do pepino

Métodos de irrigação

Diversos métodos de irrigação podem ser utilizados para o pepino; entretanto, em razão da alta susceptibilidade da cultura às doenças foliares, devem-se preferir aqueles que não molham as folhas das plantas, como sulcos, gotejamento superficial ou subsuperficial, entre outros.

Em um ensaio comparativo, Chartzoulakis e Michelakis (1990) verificaram que, na irrigação por sulcos, o volume de água necessário em um período de 3,5 meses foi de 507 mm, contra 292

mm na irrigação por gotejamento. A produção e o número de frutos por planta, bem como a distribuição do sistema radicular em profundidade, foram semelhantes para os dois sistemas, mas a eficiência de utilização de água foi de 27,7 kg m^{-3} e 16,8 kg m^{-3} para sulcos e gotejamento respectivamente. Isso enfatiza uma das principais vantagens da irrigação por gotejamento, que é reduzir a utilização de água pela irrigação, tornando o sistema de produção mais eficiente. Além disso, diante da atual “crise da água”, a irrigação por gotejamento deve sempre ser priorizada, pois contribui para a sustentabilidade e redução dos impactos ambientais da exploração agrícola.

Profundidade do sistema radicular

O manejo da irrigação em uma cultura é realizado visando manter a camada de solo correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular em uma umidade próxima à capacidade de campo. Assim, um dos fatores a serem considerados no manejo da irrigação é a profundidade efetiva do sistema radicular, ou seja, a profundidade de solo que “fornece” pelo menos 80% da quantidade de água absorvida pelas raízes.

A capacidade das raízes em explorar o solo depende das características físicas e químicas do solo, tais como, o impedimento mecânico ao crescimento das raízes, a umidade do solo, a textura do solo e a fertilidade (KLEPPER, 1990). A profundidade final de extração de água pelas culturas pode ser até 0,40 m mais profunda que a profundidade total das raízes em razão do movimento ascendente de água no solo e dos erros cometidos na determinação da profundidade do sistema radicular, o que é atribuído à baixa

precisão dos métodos tradicionais de amostragem (CARLESSO, 1995).

Chartzoulakis e Michelakis (1990), irrigando o pepino por sulcos e gotejamento, verificaram que a distribuição de raízes com o aumento de profundidade foi semelhante para os dois sistemas, e a profundidade efetiva de 0,30 m foi onde aproximadamente 80% do sistema radicular estava localizado. Loomis e Crandall (1977) concluíram que a profundidade efetiva das raízes do pepino irrigado por aspersão foi de 0,90 m; porém, a análise do padrão de extração de umidade demonstrou que este foi de 50%, 30% e 10% para as profundidades de 0 m a 0,30 m; 0,30 m a 0,60 m e 0,60 m a 0,90 m respectivamente e 10% para profundidades superiores a 0,90 m. Portanto, 80% da absorção total de água ocorreu na profundidade de 0 m a 0,60 m e, para fins de manejo da irrigação, esta seria a profundidade efetiva do sistema radicular a ser considerada.

Manejo de irrigação da cultura do pepino

O manejo da irrigação geralmente é realizado com a utilização de tensiômetros, tanque de evaporação ou por métodos empíricos. Nos dois últimos, é necessário o conhecimento do coeficiente da cultura (Kc), que correlaciona a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de uma cultura de referência (grama ou alfafa).

Não existem muitas informações sobre o manejo da irrigação do pepineiro no Brasil e, consequentemente, utilizam-se valores de Kc baseados em trabalhos realizados em outros países ou então de outras cucurbitáceas. Em virtude dessa dificuldade, Blanco (1999) estabeleceu um método combinado para o manejo da irrigação do pepineiro utilizando tensiômetros e tanque de evaporação dentro de

um ambiente protegido. Os tensiômetros foram instalados a 15 cm e 30 cm de profundidade, assumindo que a profundidade efetiva do sistema radicular era em torno de 30 cm, e as irrigações eram realizadas quando o tensiômetro instalado a 15 cm indicava tensões acima de 30 kPa. Assim, a lâmina de irrigação era calculada com base na evaporação do tanque Classe A, multiplicada pelo Kc da cultura para o dia em questão, e o ajuste era feito pela leitura do tensiômetro mais profundo. Quando, no dia após a irrigação, o tensiômetro indicava que a umidade a 30 cm de profundidade não havia atingido a capacidade de campo, o Kc para a próxima irrigação era aumentado, resultando no aumento da lâmina de irrigação. Contudo, se a umidade do solo fosse excessiva, o Kc era reduzido na próxima irrigação, resultando em menor lâmina de água aplicada. Portanto, o Kc adotado em cada irrigação era um valor atribuído, baseado apenas na observação do crescimento da cultura e nas leituras tensiométricas. A curva ajustada (r^2 = 0,85) dos valores de Kc em razão do tempo foi definida pela equação 1.

$$Kc = \text{-}0{,}02409487 + \frac{1{,}54706387}{\left(1 + EXP\left(\frac{\text{-}DAT + 51{,}9978}{0{,}291312565}\right)\right)^{0{,}005443391}} \quad (1)$$

em que DAT é o número de dias após o transplantio. A partir dessa função, pode-se estimar o Kc para cada irrigação a ser realizada durante o ciclo da cultura. Essa equação foi desenvolvida para condições específicas de cultivo e os valores de Kc podem variar de acordo com a cultivar utilizada, entre outros fatores.

Com base nos dados obtidos nesse mesmo trabalho, Blanco e Folegatti (2003) realizaram o balanço da água no solo em diferentes

profundidades e determinaram o Kc real, a evapotranspiração e a lâmina de água drenada abaixo da zona radicular para diferentes fases de desenvolvimento da cultura. Após o florescimento, o valor do Kc aumentou rapidamente, atingindo o valor máximo (em torno de 1,75) na metade do período de produção, aos 75 dias após o transplantio (Figura 5). Na Figura 6, verifica-se que ocorreu perda de água por drenagem profunda apenas no início do período de cultivo, quando a evapotranspiração ainda era baixa, e a drenagem deixou de existir quando a demanda de água pela cultura se elevou, após o início do período produtivo das plantas, evidenciando a adequação do manejo adotado.

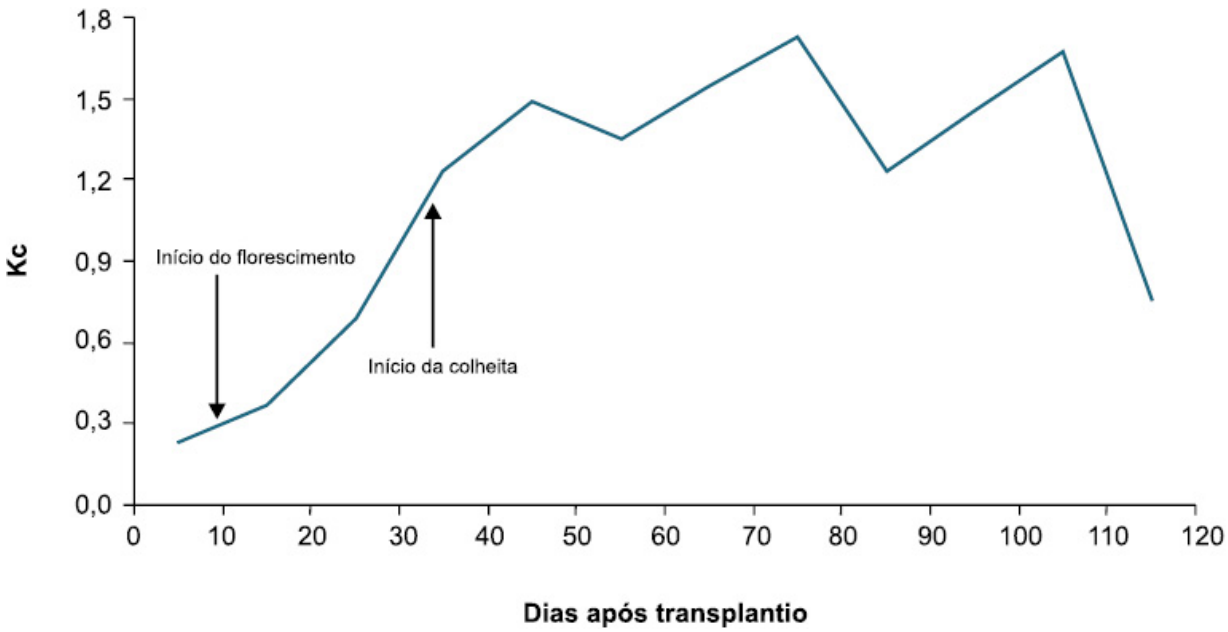


Figura 5. Valores do Kc para o pepino 'Hokushin', enxertado sobre abóbora híbrida, em ambiente protegido, em Piracicaba, SP.

Fonte: adaptado de Blanco e Folegatti (2003).

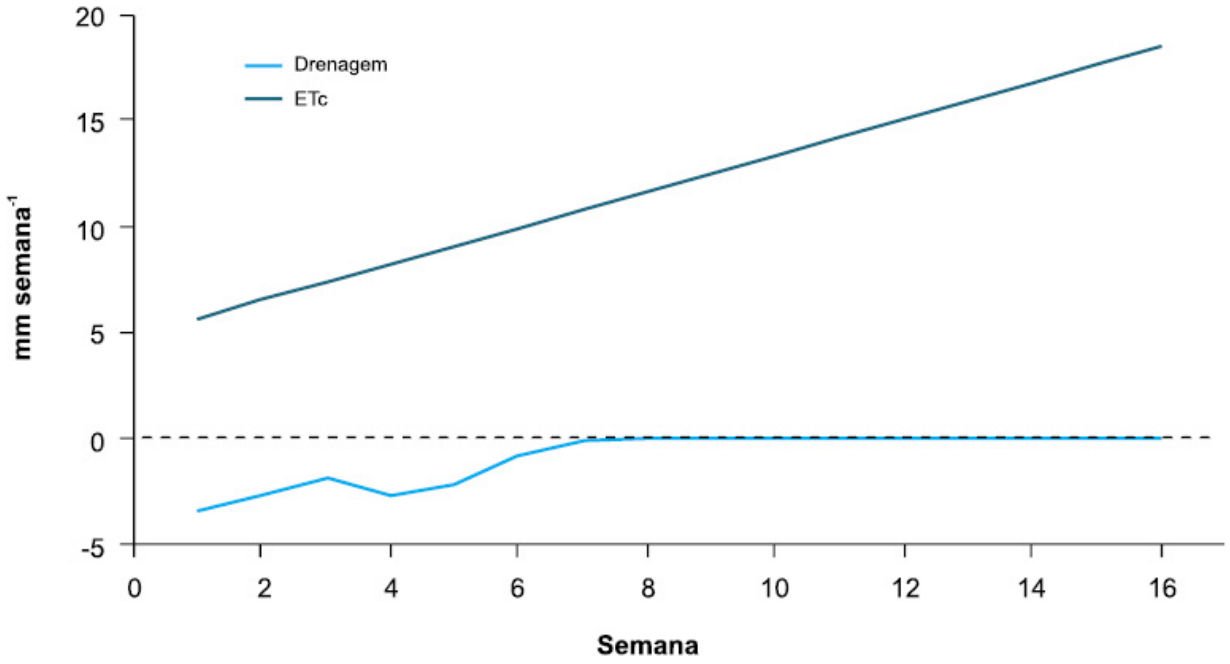


Figura 6. Drenagem e evapotranspiração do pepino ‘Hokushin’, enxertado sobre abóbora híbrida, em ambiente protegido, em Piracicaba, SP.

Fonte: adaptado de Blanco e Folegatti (2003).

Para o pepino para conserva, híbrido Pioneer, cultivado em campo aberto, Loomis e Crandall (1977) verificaram aumento rápido do Kc, determinado em lisímetros, após o início do florescimento, cujo máximo valor (Kc = 1,5) ocorreu 10 dias após o início do período de colheita (Figura 7).

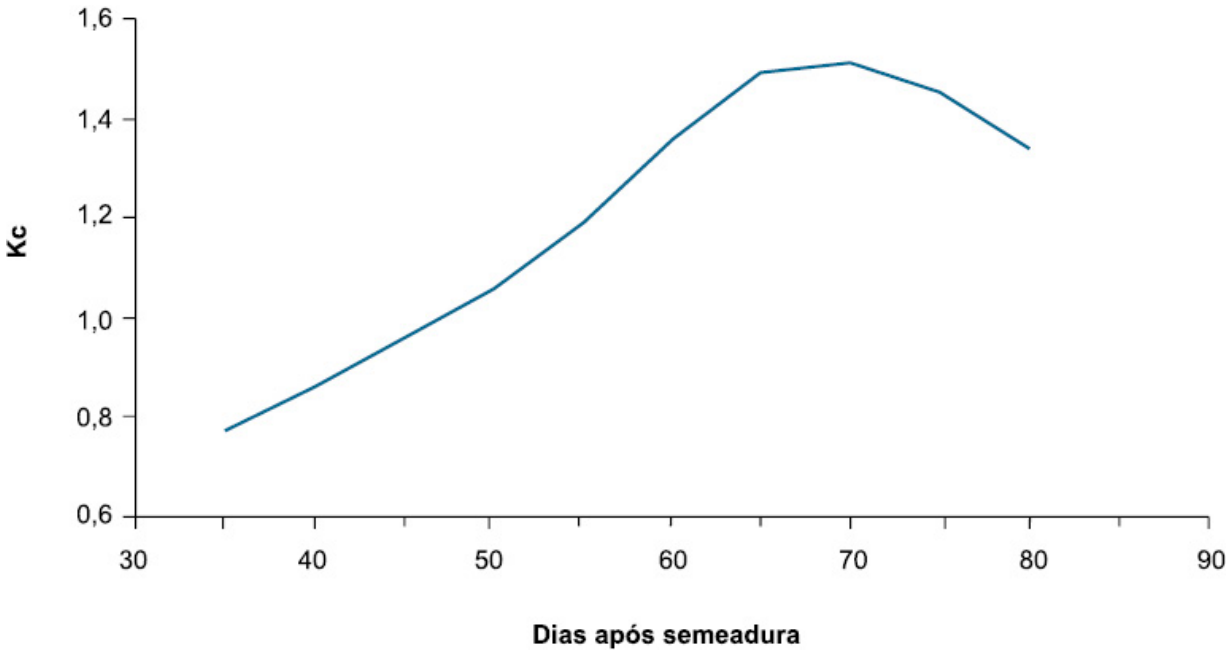


Figura 7. Valores do *Kc* para o pepino, híbrido Pioneer, cultivado em campo aberto no Estado de Washington, EUA.

Fonte: adaptado de Loomis e Crandall (1977).

Manejo da irrigação em ambiente protegido

Em cultivos protegidos, uma das dificuldades da utilização do tanque Classe A é a área ocupada por esse equipamento, que atrapalha a locomoção de pessoas para a execução dos tratos culturais no interior do ambiente, os quais são realizados de forma intensiva nesse sistema de cultivo. Com isso, algumas alternativas têm sido testadas, como a utilização de tanques de dimensões reduzidas, métodos que utilizam dados climáticos e outros equipamentos.

Uma das formas de controle da irrigação em ambiente protegido é pela utilização do método combinado, já apresentado anteriormente. Outra forma é a partir de dados meteorológicos obtidos em postos localizados próximo ao local de cultivo ou simplesmente a partir de

um tanque Classe A instalado fora do ambiente protegido, evitando assim sua interferência nos tratos culturais. Para isso, são necessárias correlações entre os diversos métodos de estimativa da evapotranspiração para o ambientes externo e interno, o que dificulta a aplicação desse método. Embora seja possível controlar a irrigação dessa maneira, como demonstrado por Blanco e Folegatti (1998, 2004), as correlações obtidas dependem da arquitetura do ambiente protegido (altura, largura, comprimento, tipo de cobertura, etc.), a qual pode variar bastante.

Eliades (1988) estabeleceu o Kc do pepino, cultivar Maram, baseando-se em um tanque Classe A instalado fora do ambiente protegido (Figura 8). Como o Kc foi determinado dividindo-se a evapotranspiração da cultura, obtida em lisímetro dentro do ambiente protegido, pela evaporação do tanque, verifica-se que o Kc é bastante inferior àqueles apresentados anteriormente, em razão da maior evaporação do tanque para as condições de campo aberto.

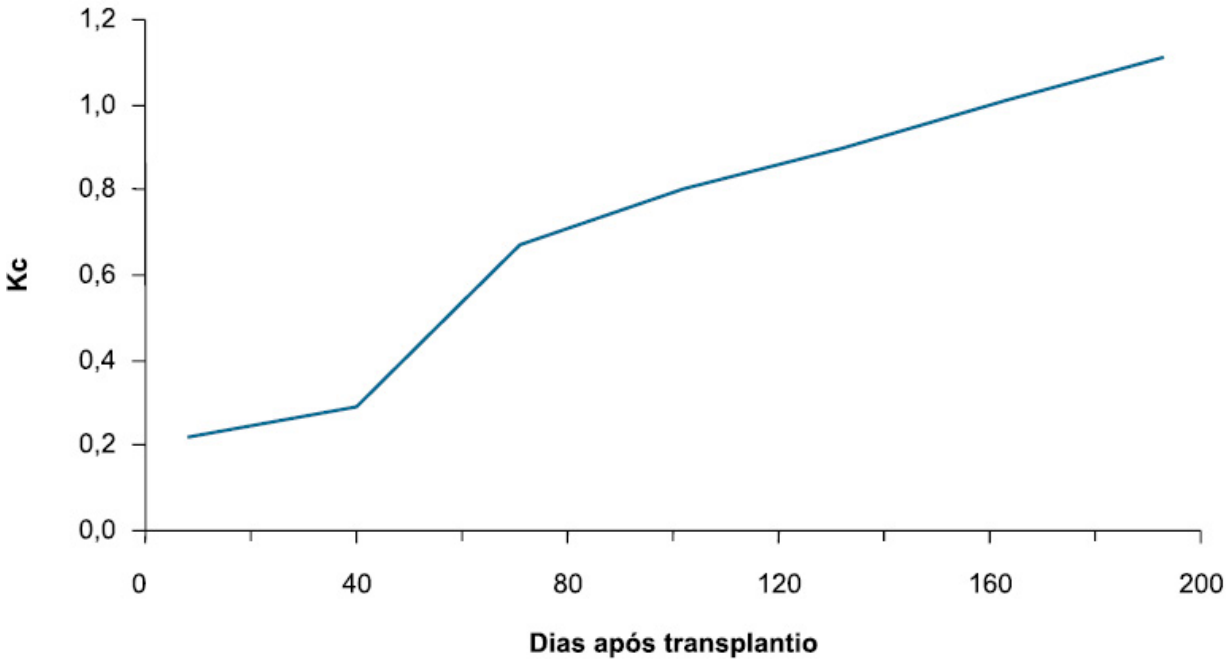


Figura 8. Valores do *Kc* para o pepino, cv. Maram, cultivado em ambiente protegido no Chipre.

Fonte: adaptado de Eliades (1988).

A utilização de outros equipamentos de medida de evaporação, como o tanque reduzido (Figura 9), o evaporímetro de Piche e o atmômetro, tem apresentado bons resultados e mostra grande potencial para o manejo da irrigação em ambiente protegido (BLANCO; FOLEGATTI, 2004).



Figura 9. Tanque de evaporação reduzido (25 mm de altura e 600 mm de diâmetro), instalado no interior de um ambiente protegido, cultivado com pepino enxertado, cv. Hokushin.

Foto: Flávio Favaro Blanco

Demanda de nutrientes

De maneira geral, a absorção de nutrientes pelas culturas é proporcional à quantidade de nutrientes disponível na região radicular. Para cada nutriente, existe um período de maior demanda quando a absorção é significativamente maior do que em outros períodos do ciclo. Para as hortaliças de frutos, grupo ao qual pertence o pepino, geralmente o período de maior demanda coincide com o início da formação dos frutos e se mantém elevada

durante todo o período de produção, reduzindo quando a planta entra na fase de senescência.

O pepino absorve e utiliza grande quantidade de nutrientes, mas é muito sensível ao excesso de fertilizantes ou à variação brusca da concentração de fertilizantes na solução do solo, e suas raízes são bastante susceptíveis a essas variações (PAPADOPOULOS, 1994). A quantidade de cada nutriente absorvida durante o ciclo varia de acordo com a variedade e com o sistema de condução e cultivo das plantas.

Para a variedade Aodai, a necessidade de nitrogênio é pequena no início do ciclo e aumenta a partir dos 36 dias após a emergência (Figura 10), acompanhando a curva de acúmulo de matéria seca (Figura 11). Esse comportamento também é observado para os demais macro e micronutrientes (Figura 10).

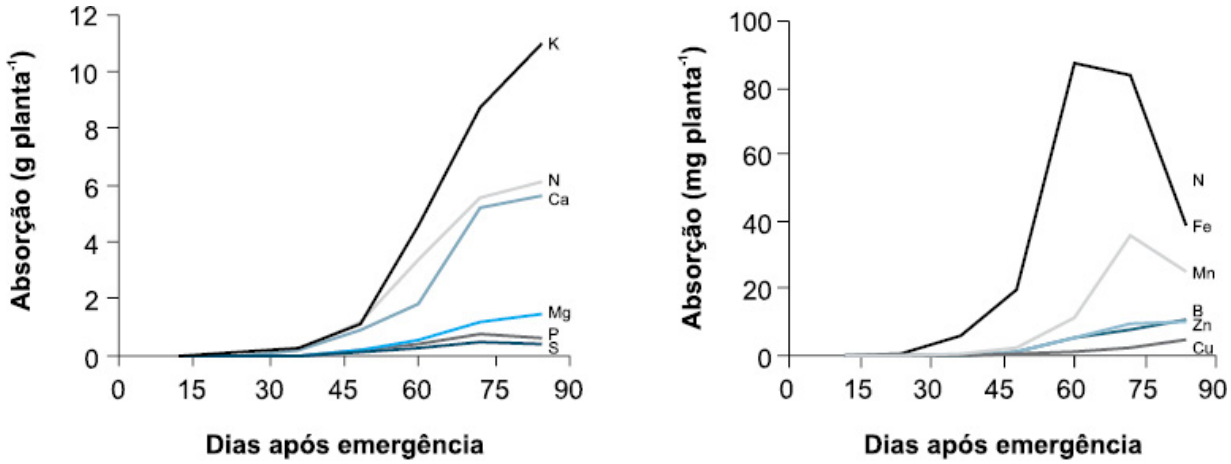


Figura 10. Acúmulos de macro (à esquerda) e de micronutrientes (à direita) em plantas de pepino, var. Aodai, cultivadas em campo aberto.

Fonte: adaptado de Solis (1982).

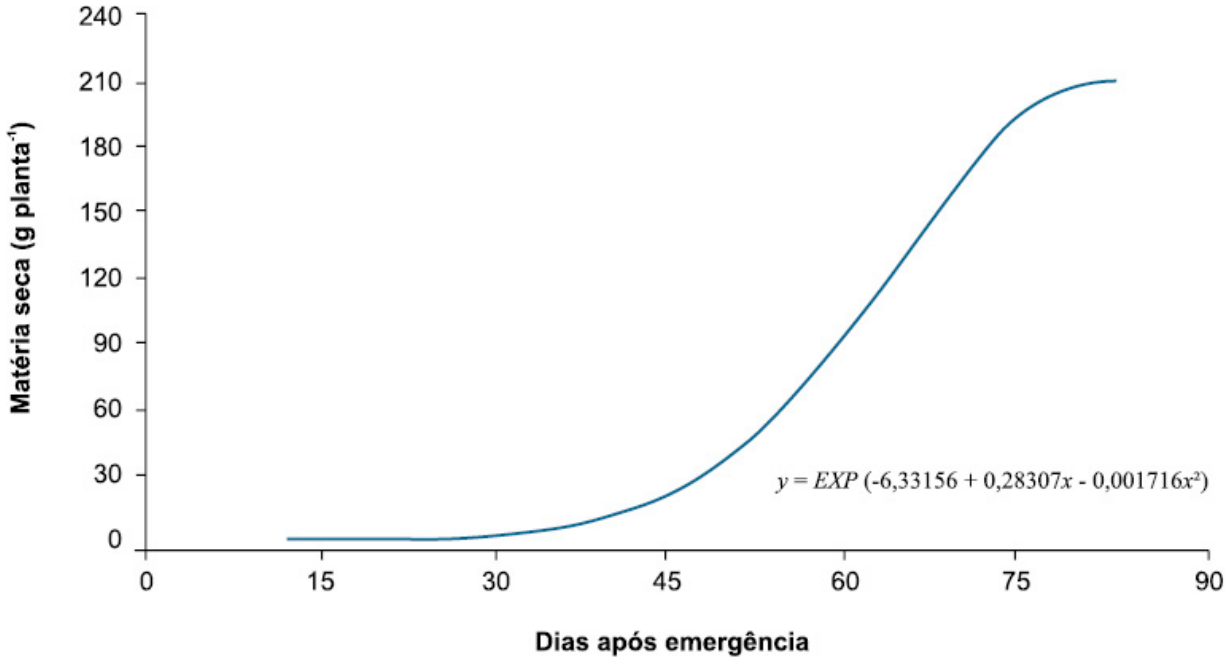


Figura 11. Acúmulo de matéria seca em plantas de pepino, var. Aodai, cultivadas em campo aberto.

Fonte: adaptado de Solis (1982).

A absorção de fósforo aumenta rapidamente com o início da produção. Aproximadamente 80% do fósforo é absorvido entre o 48º e o 72º dia após a emergência, período em que se concentra a maior parte da produção de frutos, os quais acumulam em torno de 50% do fósforo absorvido.

O potássio é o nutriente absorvido em maiores quantidades. Aproximadamente 90% do potássio é absorvido nos 36 dias finais do ciclo da cultura. O potássio exerce importante papel na qualidade dos frutos, aumentando a concentração de sólidos solúveis e, consequentemente, a palatabilidade dos frutos, além de ser um importante ativador enzimático e atuar no processo de transpiração das plantas, controlando a abertura e o fechamento dos estômatos.

O cálcio é um nutriente de grande importância para a produção. Na deficiência desse elemento, ocorre a formação de frutos com

podridão apical. A deficiência de cálcio também está relacionada à má-formação do sistema radicular e à redução do crescimento das plantas. A quantidade de cálcio absorvida durante o ciclo da cultura e a marcha de absorção são semelhantes às do nitrogênio. Ao contrário dos outros nutrientes, o transporte de Ca na planta dá-se predominantemente pelos vasos do xilema e a taxa de transporte é controlada pela movimentação da água na planta pelo processo de transpiração (MOLTAY et al., 1999). Em condições de alta umidade relativa do ar, a redução da taxa de transpiração pode resultar em deficiência de cálcio, mesmo quando o solo apresenta quantidades suficientes desse elemento (BAKKER; SONNEVELD, 1988). Portanto, o fechamento das cortinas laterais nos cultivos protegidos, em regiões de clima frio, apesar de promover a elevação da temperatura, pode levar à deficiência de Ca, em decorrência do aumento da umidade relativa interna do ambiente e, consequentemente, da redução da transpiração das plantas. Altas doses de N e K estimulam o crescimento da planta, aumentando também a absorção de Ca (MOLTAY et al., 1999).

O magnésio e o enxofre são absorvidos em quantidades relativamente baixas quando comparados com os demais nutrientes, mas são indispensáveis ao bom desenvolvimento da cultura. O Mg faz parte da molécula de clorofila, responsável pela fotossíntese, enquanto o S é componente de diversos compostos orgânicos da planta. Na tentativa de fornecer grandes quantidades de K e Ca para garantir alta produção e qualidade dos frutos, as adubações excessivas com esses elementos podem levar à deficiência de Mg na planta em razão do efeito antagônico entre esses elementos e o Mg. A deficiência de S não é comum na cultura do pepino uma vez que os adubos utilizados geralmente apresentam esse nutriente em

quantidade suficiente, como é o caso do sulfato de amônio, sulfato de magnésio e sulfato de potássio.

Os micronutrientes são pouco estudados e quase não se têm informações a respeito de recomendações de adubação com esses nutrientes. A principal função deles nas plantas está relacionada à ativação enzimática e participação em processos bioquímicos. As deficiências de micronutrientes podem ter efeitos drásticos sobre a produtividade das culturas, embora as suas ocorrências sejam bem mais raras do que deficiências de macronutrientes (RAIJ, 1991). As aplicações de micronutrientes geralmente são feitas em fundação, juntamente com fertilizantes enriquecidos com micronutrientes, como é o caso dos termofosfatos, ou por adubação foliar via pulverização, além de existirem soluções com micronutrientes para serem utilizadas em fertirrigação.

Existe pouca informação com relação à absorção de nutrientes e adubação do pepino em ambiente protegido. Assim, deve-se levar em conta que a perda de nutrientes por lixiviação e/ou por volatilização é menor, se comparada ao cultivo em campo aberto, além de as cultivares utilizadas serem mais produtivas, respondendo a maiores quantidades de nutrientes (GOTO et al., 2001).

Na Figura 12, tem-se a marcha de absorção de nutrientes obtida por Ward (1967) para o pepino cultivado em ambiente protegido sob fertirrigação. Verifica-se que a absorção de nutrientes é da ordem de cinco vezes maior do que aquela obtida por Solis (1982) em campo aberto, o que está relacionado à maior produção de matéria seca (Figura 13) e ao maior tempo de cultivo. A exceção é com relação à quantidade de Ca absorvida, que nesse caso foi 11 vezes maior. A

marcha de absorção também acompanha a curva de acúmulo de matéria seca, a qual é bastante semelhante àquela obtida para o cultivo em campo aberto. Portanto, a ideia de que o cultivo em ambiente protegido proporciona redução da quantidade de fertilizantes utilizada pode estar equivocada, pois grande quantidade de nutrientes é exportada juntamente com a produção, que é bastante superior nessas condições de cultivo.

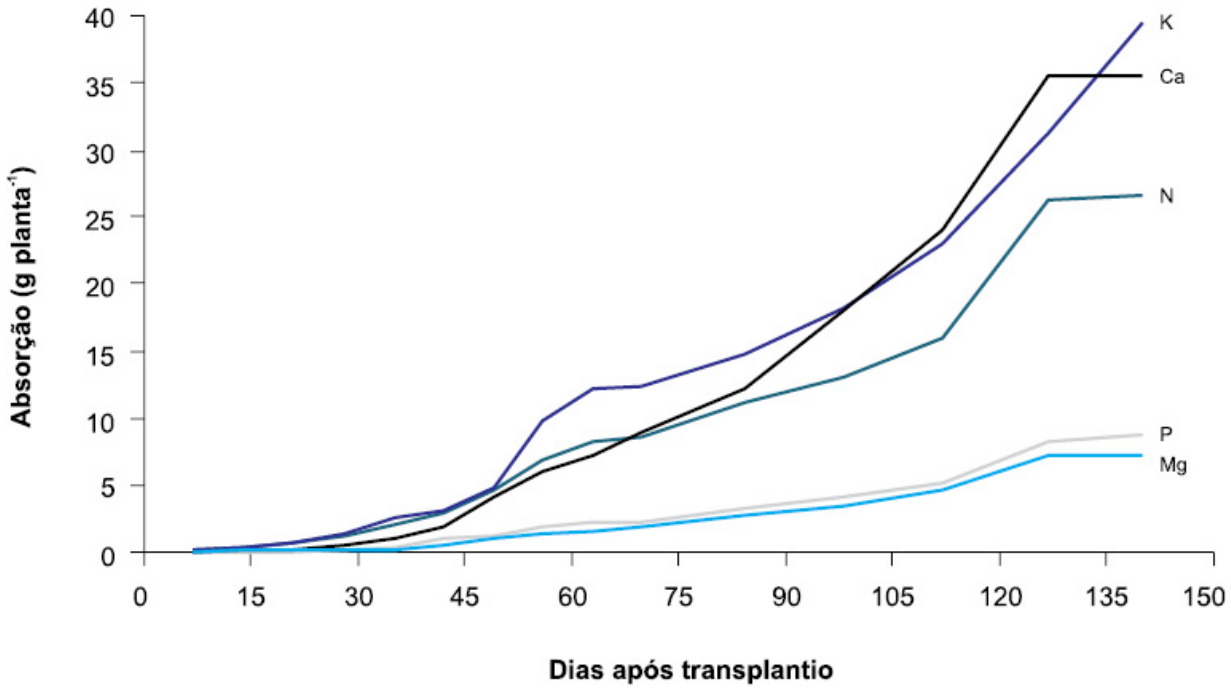


Figura 12. Absorção de macronutrientes por plantas de pepino, híbrido Burpee, em ambiente protegido.

Fonte: adaptado de Ward (1967).

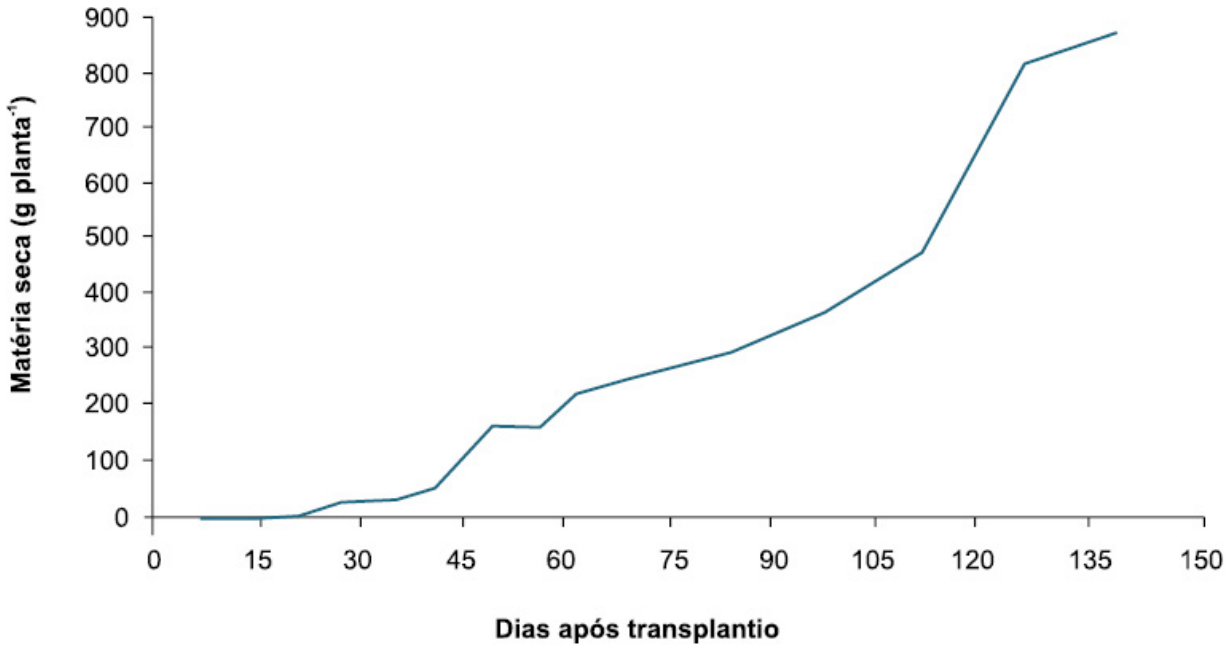


Figura 13. Acúmulo de matéria seca total em plantas de pepino, híbrido Burpee, em ambiente protegido.

Fonte: adaptado de Ward (1967).

Na Tabela 1, são apresentadas as faixas ótimas de concentração de nutrientes nas folhas de plantas de pepino de acordo com a recomendação geral de diferentes autores. Na literatura, pouco pode ser encontrado sobre os teores foliares de nutrientes no pepineiro, uma vez que essa informação raramente é apresentada nos trabalhos conduzidos no Brasil. Blanco (1999) analisou a terceira folha expandida a partir do ápice das plantas da cultivar Hokushin, no final do ciclo, em ambiente protegido (Tabela 2), a qual, de um modo geral, apresentou concentrações de nutrientes dentro das faixas ótimas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Faixas ótimas de concentração de nutrientes na matéria seca de folhas de pepino.

Nutriente	LNMP[1]	Papadopoulos (1994)	Vetanovetz (1996)
Macronutriente		(dag kg^{-1})	

N	4,5–6,0	3,0–6,0	2,5–4,5
P	0,3–1,2	0,3–1,3	0,4–0,8
K	3,5–5,0	3,5–5,0	6,0–10,0
Ca	1,5–3,5	0,5–5,0	1,5–3,0
Mg	0,3–1,0	0,35–0,70	0,5–1,5
S	0,4–0,7	-	-
Micronutriente		(mg kg^{-1})	
B	25–60	30–120	40–120
Cu	7–20	8–20	7–10
Fe	50–300	100–300	100–420
Mn	50–300	50–250	100–300
Zn	25–100	40–100	90–150

(1) Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas – ESALQ/USP.
Fonte: Blanco (1999).

Tabela 2. Concentração de macronutrientes e de micronutrientes na matéria seca da terceira folha expandida a partir do ápice das plantas de pepino, cv. Hokushin, enxertado em *Cucurbita* spp., em ambiente protegido.

Macronutriente (dag kg^{-1})					
N	P	K	Ca	Mg	S
5,02	0,55	3,01	2,17	0,45	0,52
Micronutriente (mg kg^{-1})					
B	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo
55,8	274,0	103,0	64,0	130,0	-

Fonte: adaptado de Blanco (1999).

Solis (1982) realizou análises foliares ao longo de um ciclo de cultivo do pepino, var. Aodai, em campo aberto, e verificou que as concentrações de N e de P reduziram, as concentrações de Ca e de Mg aumentaram e a concentração de K manteve-se praticamente constante ao longo do ciclo da cultura, enquanto as concentrações

de S e de micronutrientes apresentaram aumento e redução dos valores entre as determinações realizadas (Tabela 3).

Tabela 3. Concentrações de macro e de micronutrientes na matéria seca de folhas de pepino, var. Aodai, cultivado em campo aberto, em diferentes épocas do ciclo da cultura.

Dias após semeadura	Macronutriente (dag kg^{-1})					
	N	P	K	Ca	Mg	S
12	6,21	0,59	4,55	2,47	0,63	0,20
24	4,71	0,51	3,60	2,97	0,72	0,19
36	4,70	0,59	4,04	3,71	0,76	0,21
48	4,72	0,47	3,39	4,66	0,75	0,17
60	3,78	0,33	3,96	3,39	0,77	0,31
72	3,27	0,32	4,13	5,86	0,95	0,38
84	3,03	0,19	4,31	4,54	9,95	0,16
Dias após semeadura	**Micronutriente (mg kg^{-1})**					
	B	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo
12	35,7	728,7	69,0	18,0	198,7	-
24	46,0	525,2	43,7	13,2	102,5	-
36	47,5	1788,0	58,0	16,5	170,7	-
48	53,7	688,7	43,2	14,2	102,0	-
60	63,0	313,5	60,5	14,7	217,2	-
72	50,0	286,0	42,2	12,5	356,0	-
84	83,7	71,5	57,0	21,5	188,0	-

Fonte: adaptado de Solis (1982).

As concentrações médias de nutrientes nos frutos são apresentadas na Tabela 4. Com isso, conhecendo-se a produtividade obtida e o teor de matéria seca dos frutos, pode-se estimar a quantidade de nutrientes exportada com a colheita. Os resultados são apresentados na Tabela 5, em que se nota que a quantidade de

nutrientes exportada pela colheita no cultivo em ambiente protegido é significativamente maior do que aquela correspondente ao cultivo em campo aberto, embora, para alguns macronutrientes e micronutrientes, a concentração nos frutos tenha sido maior em campo aberto.

Tabela 4. Concentração de macronutrientes e de micronutrientes na matéria seca de frutos de pepino para condições de ambiente protegido e campo aberto.

Ambiente de cultivo	Macronutriente (dag kg^{-1})					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Ambiente protegido[1]	4,14	0,49	4,34	0,31	0,28	0,41
Campo aberto[2]	3,63	0,69	5,59	0,60	0,48	0,20
Ambiente de cultivo	**Micronutriente (mg kg^{-1})**					
	B	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo
Ambiente protegido	17	116	248	55	38	-
Campo aberto	30	66	42	18	34	-

[1] Cultivar Hokushin, enxertada sobre *Cucurbita* spp. (BLANCO, 1999).
[2] Variedade Aodai (SOLIS, 1982).

Tabela 5. Exportação de macronutrientes e de micronutrientes por meio da colheita de frutos para o pepino cultivado em ambiente protegido e campo aberto.

Ambiente de cultivo	Macronutriente (kg ha^{-1})					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Ambiente protegido[1]	191,8	26,7	201,1	14,4	13,0	19,0
Campo aberto[2]	56,1	10,7	86,5	9,3	7,4	3,1
Ambiente de cultivo	**Micronutriente (g ha^{-1})**					
	B	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo
Ambiente protegido	216,2	537,4	1.148,9	254,8	176,0	-
Campo aberto	46,7	102,2	64,4	27,8	52,2	-

(1) Cultivar Hokushin, enxertada sobre *Cucurbita* spp. (BLANCO, 1999). Produtividade = 109 t ha^{-1}.
(2) Variedade Aodai (SOLIS, 1982). Produtividade = 53,46 t ha^{-1}.

Proposta de adubação para a cultura do pepino sob fertirrigação

Para que a fertirrigação seja eficiente, é necessário que haja um equilíbrio entre a quantidade de nutrientes e a quantidade de água a ser aplicada durante cada fase do ciclo da cultura, o que determina a concentração de fertilizantes na água de irrigação. Essa concentração deve ser suficiente para proporcionar a absorção dos nutrientes nas quantidades requeridas pelas plantas, sem causar o acúmulo de fertilizantes no solo, o que poderia resultar em salinização e, consequentemente, na redução da produtividade (BLANCO; FOLEGATTI, 2002a). Para isso, o manejo adequado da irrigação é fator-chave no sucesso da técnica da fertirrigação. Por um lado, a aplicação de água em excesso pode provocar a lixiviação dos nutrientes para profundidades fora do alcance das raízes das plantas e, por outro lado, a falta de água reduz a absorção dos fertilizantes, visto que a maior parte da absorção dos nutrientes se dá juntamente com a absorção de água.

Apesar de existirem poucos trabalhos de pesquisa publicados no Brasil em fertirrigação de hortaliças, essa prática é bastante difundida, principalmente entre horticultores que utilizam a irrigação por gotejamento e fazem uso de fórmulas e procedimentos desenvolvidos por consultores, nacionais ou estrangeiros, e firmas de fertilizantes ou produtos agrícolas que, muitas vezes, não

atendem às necessidades das culturas (SILVA et al., 1999). A inadequação dos produtos e as falhas nas recomendações de manejo têm levado a insucessos com a utilização da técnica da fertirrigação, cujos benefícios ficam muito abaixo do esperado e, consequentemente, muitos agricultores deixam de utilizá-la e de acreditar no seu potencial.

A falta de recomendações específicas da dose e parcelamento dos fertilizantes a serem aplicados via fertirrigação na cultura do pepino para as condições de clima e solo do Brasil acaba resultando na utilização de recomendações utilizadas em outros países ou, então, daquelas feitas para o cultivo com adubação tradicional, em que a quantidade de fertilizantes a ser aplicada na cova é diluída e aplicada juntamente com a água de irrigação. Tais recomendações, muitas vezes, não são adequadas às condições específicas de cultivo e as quantidades recomendadas podem ser excessivas ou insuficientes. As cultivares e os métodos de cultivo empregados em outros países podem diferir muito dos utilizados no Brasil e a produtividade da cultura chega a ser mais de cinco vezes superior, o que, logicamente, demanda maior quantidade de fertilizantes em razão da exportação de nutrientes pela colheita. Além disso, ainda não se sabe ao certo como adaptar as recomendações de adubação feitas para a fertilização tradicional às condições de fertirrigação. Se, de um lado, a fertirrigação promove uma redução das perdas de fertilizantes, pois estes são aplicados diretamente na região do solo onde se concentram as raízes, de outro lado, há de se considerar que a fertirrigação geralmente traz um aumento de produtividade e, consequentemente, um aumento da demanda por nutrientes pela cultura.

Como visto na seção anterior, certos nutrientes são absorvidos em maiores quantidades pelo pepineiro do que outros e, portanto, devem ser aplicados em maiores quantidades. Esse raciocínio só não é válido para o fósforo quando aplicado em fundação, porque a fixação desse elemento pelo solo exige que seja aplicada uma quantidade de fertilizante bastante superior às necessidades das plantas, geralmente feita no momento ou alguns dias antes da semeadura ou transplantio das mudas. Entretanto, no caso da irrigação por gotejamento, tem sido comprovado que o P aplicado por fertirrigação pode atingir profundidades maiores que 50 cm, sendo sua movimentação normal no solo quando aplicado via água de irrigação de 20 cm a 30 cm, tanto vertical quanto lateralmente (RAUSCHKOLB et al., 1976; VIVANCOS, 1993), fazendo que o P também possa ser aplicado ao longo do ciclo da cultura, segundo a marcha de absorção desse nutriente.

Macedo Júnior et al. (2000) verificaram que a produtividade sob fertirrigação foi maior do que aquela obtida com a adubação convencional do pepino, cultivar Hokuhoo. Vivancos (1993) recomenda que, para produtividade variando de 40 t ha^{-1} a 300 t ha^{-1}, devem-se aplicar 60 kg ha^{-1} a 500 kg ha^{-1} de N, 22 kg ha^{-1} a 87 kg ha^{-1} de P e 66 kg ha^{-1} a 581 kg ha^{-1} de K via fertirrigação. Blanco e Folegatti (2002a) obtiveram produtividade de 111 t ha^{-1} do pepino enxertado, cultivar Hokushin, cultivado em ambiente protegido, com a aplicação de 11,44 g $planta^{-1}$ de N, 1,29 g $planta^{-1}$ de P, 13,02 g $planta^{-1}$ de K, 8,19 g $planta^{-1}$ de Ca e 0,43 g $planta^{-1}$ de Mg via fertirrigação, o parcelamento da aplicação de cada nutriente (Figura 14) seguiu a recomendação de Papadopoulos (1994). Nesse caso, a fertirrigação foi realizada em todas as irrigações, as quais tiveram

uma frequência média de 3 dias, e pode ser utilizada como referência para cultivos comerciais ou experimentais.

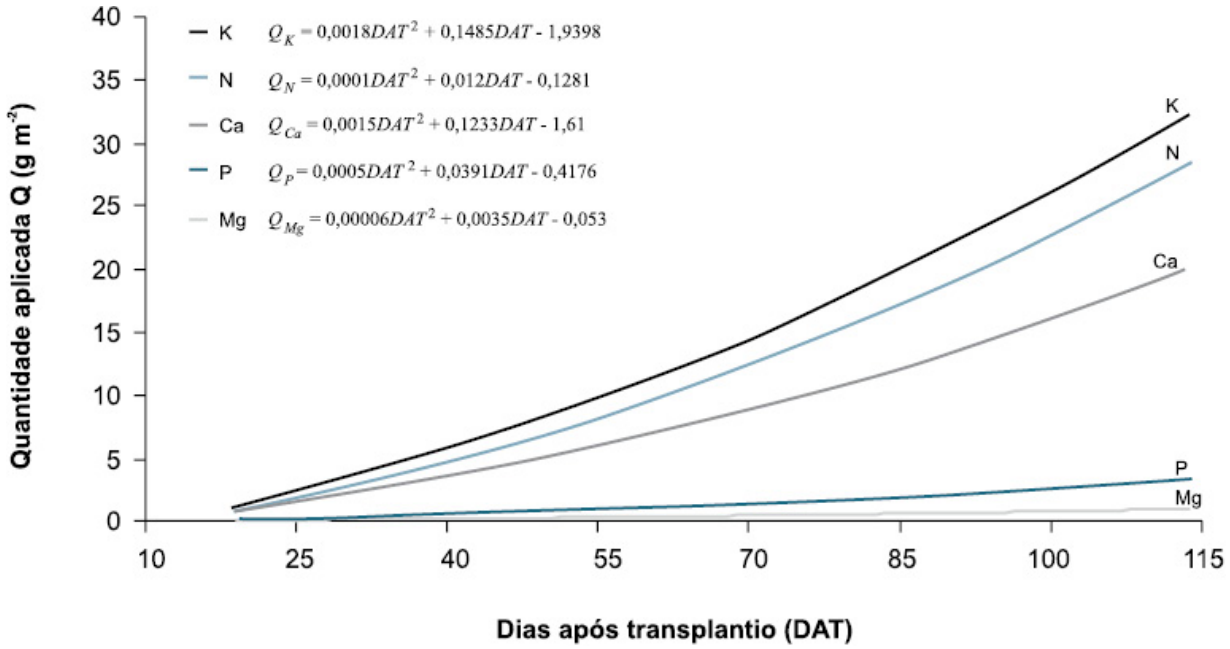


Figura 14. Quantidade acumulada de cada nutriente aplicado via fertirrigação, ao longo do ciclo da cultura do pepino, em ambiente protegido. Densidade de plantio de 25.000 plantas ha^{-1}.

Fonte: Blanco e Folegatti (2002a).

A necessidade da adubação de fundo, realizada por ocasião da semeadura ou transplante das mudas, é um tema polêmico em fertirrigação e as opiniões são contrastantes. López (2001) afirma que a adubação de base deve ser realizada com fertilizantes de liberação lenta e se justifica por duas razões fundamentais: como reserva de nutrientes em épocas chuvosas para culturas que não se desenvolvem em ambiente protegido e para compensar dificuldades no fornecimento de fertilizantes ou deficiências na fertirrigação. No entanto, Vivancos (1993) recomenda apenas a aplicação de matéria orgânica (esterco) em fundação, sendo os fertilizantes aplicados apenas via fertirrigação.

Como recomendação geral, a adubação de fundação deve ser realizada somente se o solo apresentar baixos teores de nutrientes. Nesse caso, aplica-se quantidade suficiente de fertilizantes para garantir a sobrevivência e o desenvolvimento inicial das plantas, uma vez que, a partir de 15 a 20 dias após a emergência ou transplantio, as fertirrigações serão iniciadas e, consequentemente, não é necessário que o solo apresente reserva dos nutrientes que estiverem sendo aplicados juntamente com a água de irrigação. Essa recomendação é corroborada pelo estudo realizado por Chouliaras e Mavromatis (1990), os quais observaram que muitos solos sob cultivo protegido na região de Thessaly, na Grécia, estavam com teores excessivamente altos de alguns nutrientes em decorrência da adubação de fundo realizada como prática obrigatória no início dos cultivos, mesmo com o solo apresentando teores adequados de nutrientes.

Controle da fertirrigação

Para se ter um melhor controle da fertirrigação, é necessário que a aplicação de fertilizantes seja acompanhada pela análise de solo e da planta, adequando-se a quantidade aplicada às necessidades reais da cultura. Entretanto, após o envio das amostras de solo e planta ao laboratório, existe um tempo, que pode chegar a alguns dias ou semanas, para que os resultados fiquem disponíveis. Sendo o pepino uma cultura bastante dinâmica e de crescimento e produção vigorosos, esse tempo pode representar perdas de produtividade. Além disso, a concentração de nutrientes no solo e na planta varia diariamente com a aplicação de fertilizantes e com a absorção pela cultura, o que torna os resultados das análises pouco

representativos uma vez que as condições no momento do recebimento dos resultados já não são aquelas do momento da coleta das amostras.

Os extratores da solução do solo e os kits para determinação rápida da concentração de nutrientes na solução e na seiva da planta têm surgido como alternativa para análises convencionais, a fim de agilizar o processo de determinação da concentração de nutrientes e, desse modo, garantir um manejo mais eficiente da fertirrigação. Apesar de essas técnicas já estarem em uso por produtores, principalmente em cultivos protegidos, esses métodos ainda apresentam problemas que devem ser mais bem estudados e necessitam de calibrações para a cultura do pepino nas condições de cultivo do Brasil.

Referências

AKINCI, S.; ABAK, K. Determination of a suitable formula for the calculation of sum growing degree days in cucumber. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 492, p. 273-280, 1999.

BAKKER, J. C.; SONNEVELD, C. Calcium deficiency of glasshouse cucumber as affected by environmental humidity and mineral nutrition. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 63, n. 2, p. 241-246, 1988.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. 1999. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Estimativa da evapotranspiração em estufa plástica utilizando dados meteorológicos externos. In: BALBUENA, R. H.; BENEZ, S. H.; JORAJURÍA, D. (Ed.). **Avances en el manejo del suelo y agua en la ingeniería rural latinoamericana**. La Plata: Editorial de la U.N.L.P., 1998. p. 361-366.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Tolerância do pepino enxertado à salinidade em diferentes épocas do desenvolvimento. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE

INGENIERÍA AgríCOLA, 2000, Guanajuato. **Memorias in extenso**. Guanajuato: ALIA, 2000. 1 CD-ROM.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 76-80, 2001.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 251-255, 2002a.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching management. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 414-419, 2002b.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 285-291, 2003.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Evaluation of evaporation-measuring equipments for estimating evapotranspiration within a greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 184-188, 2004.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V.; NOGUEIRA, M. C. S. Fertirrigação com água salina e seus efeitos na produção do pepino enxertado em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 3, p. 442-446, 2002.

BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; MATZENAUER, R.; MARCON, I. A. Soma térmica para o cultivo do pepineiro na região do baixo vale do Taquari, RS. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, 2001. Suplemento.

CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Comparação de métodos de enxertia em pepino. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 1, p. 95-99, 2002.

CANTLIFFE, D. J. Alteration of sex expression in cucumber due to changes in temperature, light intensity, and photoperiod. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 106, n. 2, p. 133-136, 1981.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

CHARTZOULAKIS, K. S. Effects of saline irrigation water on germination, growth and yield of greenhouse cucumber. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 287, p. 327-334, 1990.

CHARTZOULAKIS, K.; MICHELAKIS, N. Effects of different irrigation systems on growth and yield of greenhouse cucumber. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 278, p. 237-243, 1990.

CHOULIARAS, N. A.; MAVROMATIS, E. Nutritional conditions of cultures in greenhouses in Thessaly (Greece). **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 287, p. 221-225, 1990.

ELIADES, G. Irrigation of greenhouse-grown cucumbers. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 63, n. 2, p. 235-239, 1988.

FAO. *Food and Agriculture Organization* of the United Nations. **FAOSTAT**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>. Acesso em: 25 mar. 2005.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 338 p.

FONTES, R. R.; LIMA, J. A. Sistema de cultivo convencional. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 281-300.

GOTO, R.; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 241-268.

KAWAIDE, T. Utilization of rootstocks in cucurbits production in Japan. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Ibaraki, v. 18, n. 4, p. 285-288, 1985.

KLEPPER, B. Root growth and water uptake. In: STEWART, D. R.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1990. p. 282-322.

LIEBIG, H. P. Physiological and economical aspects of cucumber crop density. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 118, p. 149-164, 1981.

LOOMIS, E. L.; CRANDALL, P. C. Water consumption of cucumbers during vegetative and reproductive stages of growth. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 102, n. 2, p. 124-127, 1977.

LÓPEZ, C. C. Fertirrigação: aplicações na horticultura. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 269-288.

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

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance - current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 103, n. 2, p. 115-134, 1977.

MACEDO JÚNIOR, E. K.; RODRIGUES, J. D.; VILLAS BOAS, R. L.; GOTO, R.; PINHO, S. Z. Produção de pepino (C*ucumis sativus* L.), enxertado e não enxertado, submetido à adubação convencional em cobertura e via fertirrigação, em cultivo protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AgríCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais**... Fortaleza: SBEA, 2000. 1 CD-ROM.

MARCELIS, L. F. M. Effect of assimilate supply on the growth of individual cucumber fruits. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, DK, v. 87, n. 3, p. 313-320, 1993.

MARCELIS, L. F. M.; HOFMAN-EIJER, L. R. B. Effect of temperature on the growth of individual cucumber fruits. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, DK, v. 87, n. 3, p. 321-328, 1993.

MEDANY, M. A.; WADID, M. M.; ABOU-HADID, A. F. Cucumber fruit growth rate in relation to climate. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 486, p. 107-111, 1999.

MILTHORPE, F. L. Studies on the expansion of the leaf surface: I. The influence of temperature. **Journal of Experimental Botany**, London, GB, v. 10, n. 29, p. 233-249, 1959.

MOLTAY, I.; SOYERGIN, S.; SÜRMELI, N.; GENÇ, Ç.; YÜREKTÜRK, M. Determination of the nutrient status of greenhouse-grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) in the east Marmara region. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 492, p. 237-243, 1999.

NITSCH, J. P.; KURTZ JUNIOR, E. B.; LIVERMAN, J. L.; WENT, F. W. The development of sex expression in cucurbit flowers. **American Journal of Botany**, Bronx, v. 39, n. 1, p. 32-43, 1952.

ODA, M. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Ibaraki, v. 29, n. 3, p. 187-194, 1995.

PAPADOPOULOS, A. P. **Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media**. Ottawa: Agriculture and Agri-Food Canada, 1994. 126 p. (Agriculture and Agri-Food Canada Publication, 1902/E).

PAPADOPOULOS, I. Processo de transição da fertilização convencional para a fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 9-69.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres: Potafos, 1991. 343 p.

RAUSCHKOLB, R. S.; ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; CARLTON, A. B.; BURAU, R. G. Phosphorus fertilization with drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, n. 1, p. 68-72, 1976.

RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; FLORI, J. E. Produção de pepino para conserva no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, 2001. Suplemento.

SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A. Fertirrigação na Embrapa Hortaliças. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 433-440.

SILVA, A. C. F.; MÜLLER, J. J. V.; YOKOYAMA, P. Comportamento de cultivares de pepino para indústria no baixo vale do Itajaí, em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 19, 1979, Florianópolis. **Resumos**... Florianópolis: Empasc, 1979. v. 1, p. 66-68.

SOLIS, F. A. M. **Concentração e extração de nutrientes e distúrbios nutricionais na cultura de pepino (*Cucumis sativus* L.) var. Aodai**. 1982. 139 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SONNENBERG, P. E. **Olericultura especial**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1980. parte 2, 143 p.

SONNEVELD, C.; VOOGT, S. J. Effects of saline irrigation water on glasshouse cucumbers. **Plant and Soil**, The Hague, v. 49, n. 3, p. 595-606, 1978.

VETANOVETZ, R. P. Tissue analysis and interpretation. In: REED, D. W. (Ed.). **Water, media, and nutrition for greenhouse crops**. Batavia: Ball, 1996. p. 197-219.

VIVANCOS, A. D. **Fertirrigacion**. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1993. 217 p.

WARD, G. M. Growth and nutrient absorption in greenhouse tomato and cucumber. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 90, p. 335-341, 1967.

WIEN, H. C. The cucurbits: cucumber, melon, squash and pumpkin. In: WIEN, H. C. (Ed.). **The physiology vegetable crops**. Oxford: CAB International, 1997. p. 345-386.

Capítulo 25

Irrigação e fertirrigação na cultura do pimentão

Waldir Aparecido Marouelli
Washington Luiz de Carvalho e Silva

Introdução

O pimentão (*Capsicum annuum* L.), hortaliça pertencente à família Solanaceae, é originário das regiões tropicais da América, incluindo o México, a América Central e a América do Sul. Temperaturas entre 25 °C e 30 °C favorecem o melhor desenvolvimento das plantas, o florescimento e o pegamento de frutos. Temperaturas inferiores a 25 °C retardam a germinação e o desenvolvimento das plantas, enquanto temperaturas próximas a 35 °C, apesar de estimularem maior florescimento, provocam maior queda de flores. Temperatura em torno de 30 °C e umidade relativa do ar de 90% favorecem o desenvolvimento e a qualidade dos frutos, principalmente em termos de maior intensidade na coloração e no teor de vitamina A.

O cultivo de pimentões é uma atividade altamente significativa para o setor olerícula brasileiro, sendo responsável anualmente por cerca de 13 mil hectares de área cultivada e produção próxima a 290 mil toneladas de frutos. Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro são os principais produtores.

O pimentão, em maior ou menor grau, é consumido em todo o Brasil, principalmente na forma de fruto verde. O fruto é relativamente rico em vitaminas A e C, sendo encontrado em três formatos típicos: retangular, cônico e quadrado. Além de cultivares de frutos verdes e vermelhos, quando maduros, existe larga gama de híbridos coloridos, em cores que variam do marfim ao púrpuro, passando pelo creme, amarelo e laranja. As cultivares híbridas predominam no mercado pela resistência a doenças, alto vigor, alta produtividade, precocidade, uniformidade de produção e qualidade do fruto.

O cultivo do pimentão no Brasil é realizado tradicionalmente em campo sob irrigação por sulco, com produtividades variando entre 25 t ha^{-1} e 45 t ha^{-1}. Nas últimas duas décadas, o sistema de cultivo protegido em casas de vegetação, usando-se cobertura do solo com plástico preto (*mulching*) e fertirrigação por gotejamento, tem-se tornado, em várias regiões do País, uma alternativa mais viável economicamente que os sistemas por sulco e por aspersão.

Entre as principais vantagens do cultivo protegido sob fertirrigação, destacam-se: proteção contra o frio, chuva e vento; menor incidência de doenças da parte aérea; prolongamento do período de colheita; produtividade pode superar 200 t ha^{-1}; melhor qualidade de fruto; e oferta de produto em condições de melhores preços. Esse sistema de produção tem-se expandido em todo o País, sobretudo no Distrito Federal, que conta com área de 36 hectares de pimentão em condições protegidas, com produtividade média de 186 t ha^{-1}. No Estado de São Paulo, por exemplo, praticamente todo o pimentão colorido é produzido em cultivo protegido. No Amazonas, especialmente nos municípios de Iranduba e Presidente Figueiredo, produtores organizados em cooperativas investiram nas tecnologias

de cultivo protegido e fertirrigação por gotejamento e já produzem significativas quantidades de pimentão, suficientes para abastecer o mercado de Manaus (MAROUELLI; SILVA, 2007).

Sistemas de irrigação

Embora as irrigações por sulco e gotejamento sejam os sistemas mais empregados no Brasil para o cultivo do pimentão, outros sistemas são e podem ser utilizados. A seleção do mais adequado deve ser realizada com base na ponderação de suas vantagens e desvantagens para cada condição específica, levando-se em conta as condições edafoclimáticas, agronômicas, socioeconômicas e rendimento da cultura em cada sistema (MAROUELLI; SILVA, 1998).

Irrigação por sulco

O sistema de cultivo do pimentão, geralmente em linhas espaçadas de 80 cm a 100 cm, com plantas tutoradas e espaçadas de 40 cm a 50 cm, favorece o uso da irrigação por sulco. Esse sistema não requer grandes investimentos, sendo o mais barato entre todos. O fornecimento de água do canal de distribuição para os sulcos pode ser feito por sifões de plástico ou de mangote, assim como por meio de bacias em nível. Muitos produtores fazem o desvio da água para os sulcos com o auxílio de enxada, o que, além de não permitir um controle uniforme da quantidade de água aplicada nos sulcos, favorece maior erosão do solo.

Para que a irrigação seja eficiente e eficaz, isto é, não cause erosão do solo, lixiviação de nutrientes, deficit ou excesso de água para as plantas, os seguintes parâmetros devem ser otimizados: formato, declividade e comprimento dos sulcos; vazão de água na entrada dos sulcos; e tempo de irrigação. Caso isso ocorra, é possível ter irrigação por sulco com eficiência e uniformidade comparáveis aos sistemas por aspersão e gotejamento.

Fatores como tipo de solo, geometria do terreno, sistema de plantio, tratos culturais e colheita também afetam o estabelecimento dos parâmetros básicos da irrigação por sulco. É recomendável que testes de campo sejam realizados para a determinação adequada do comprimento, declividade e vazão. Em geral, quanto mais grossa a textura do solo, mais curtos devem ser os sulcos e menores a vazão de entrada e a declividade deles. Uma estratégia utilizada para aumentar a eficiência da irrigação em solos com velocidades de infiltração moderada e alta, em que se incluem até mesmo solos argilosos de cerrado, é a adoção de sulcos mais curtos, com cerca de 20 m, baixa declividade (0,5% a 1,0%) e extremidade oposta fechada para não haver escoamento no final deles.

Além das dificuldades típicas que ocorrem quando a irrigação por sulco for inadequada, outros problemas, como a transmissão de doenças causadas por fitopatógenos de solo, podem surgir. Um exemplo característico é a murcha-bacteriana, causada pela bactéria Ralstonia solanacearum, que pode ser transmitida de uma a outras plantas por meio da água em movimento ao longo do sulco.

Um aspecto altamente positivo da irrigação por sulco, relacionado a doenças, é não molhar a parte aérea das plantas. Isso minimiza a

ocorrência de doenças foliares e de frutos e favorece o manejo das pulverizações para o controle de doenças e pragas.

Irrigação por aspersão

O cultivo do pimentão no Brasil, geralmente feito por pequenos produtores em áreas de até dois hectares, não utiliza a irrigação por aspersão em escala significativa. Entretanto, em áreas maiores, como no cultivo para a produção de páprica e corantes naturais à base de pimentão vermelho, a aspersão tem sido utilizada, com destaque para o pivô central. Nesses casos, o sistema de cultivo é feito com semeadura direta e maior população de plantas por área. O Estado de Minas Gerais é o principal produtor de pimentão para processamento, com área em torno de 2 mil hectares.

O uso da aspersão para irrigação dessa cultura apresenta algumas limitações. A necessidade de maior investimento, comparativamente à irrigação por sulco, e o favorecimento da ocorrência de doenças foliares, em razão da formação de ambiente úmido, são os principais fatores que limitam o emprego da aspersão. Assim, caso o produtor opte por utilizar a aspersão, deve estar ciente de que cuidados fitossanitários devem ser tomados para o sucesso do empreendimento. Por sua vez, segundo Marouelli e Silva (2007), a incidência de oídio (*Oidiopsis taurica*) em lavouras de pimentão irrigadas por aspersão é bem menor que naquelas irrigadas por sulco e por gotejamento em virtude da ação mecânica das gotas d’água que danifica as estruturas vegetativas e reprodutivas do fungo.

O manejo da irrigação por aspersão, do ponto de vista da uniformidade, eficácia e eficiência, além dos tratos fitossanitários da

cultura, deve ser criteriosamente realizado para não interferir negativamente no rendimento da cultura. Além disso, esse tipo de irrigação em pimentão deve ser evitada na parte da manhã para não prejudicar a ação de insetos polinizadores.

No caso da aspersão convencional, geralmente com tubulações móveis, devem ser observados o correto espaçamento entre laterais e aspersores, o posicionamento dessas tubulações com relação à declividade do terreno e ventos predominantes, a pressão de serviço e a taxa de precipitação do sistema. As laterais devem ser dispostas perpendicularmente à direção predominante dos ventos e, tanto quanto possível, em nível. A pressão de serviço, para esses casos, varia entre 200 kPa e 400 kPa. Aspersores funcionando a pressões muito baixas produzem gotas muito grandes, o que, além da baixa uniformidade de aplicação, pode provocar a lavagem de pólen e a queda de flores e afeta o rendimento final.

A taxa de precipitação do sistema deve ser menor que a capacidade do solo em absorver água para não haver escoamento superficial e, consequentemente, erosão e baixa eficiência da irrigação. Quanto mais fina a textura do solo, em geral, menor deve ser a intensidade de aplicação de água do sistema. Para a maioria dos solos de textura média, precipitações de 10 mm h^{-1} a 20 mm h^{-1} não são capazes de provocar escoamento superficial de água.

Irrigação por gotejamento

O sistema por gotejamento oferece muitas vantagens para a irrigação do pimentão, como economia de água, energia e mão de obra, maior uniformidade de aplicação de água e facilidade de fertirrigação, além de favorecer a automação. A principal limitação

de seu uso na cultura do pimentão é ainda o alto custo de aquisição e de manutenção do sistema. Mesmo assim, a área irrigada por gotejamento no Brasil tem crescido substancialmente.

Na Flórida, Estados Unidos, o pimentão é a segunda hortaliça mais importante economicamente, sendo cultivados anualmente cerca de 10 mil hectares. Praticamente toda a área cultivada, em canteiros cobertos com *mulching* de polietileno, é irrigada por gotejamento ou subsuperficialmente por meio do manejo de lençol freático, com cerca de 50% para cada sistema (HOCHMUTH, 2003).

No caso de pimentão em cultivo protegido, entretanto, o gotejamento associado à prática de fertirrigação tem sido largamente empregado, com ou sem cobertura com plástico (*mulching*). A cobertura do solo com plástico em cultivos de pimentão, tanto em campo quanto em casa de vegetação, tem sido bastante utilizada, principalmente por causa da maior conservação de água e redução da incidência de plantas daninhas. Essa prática, porém, tem custos com material e mão de obra, além do risco de encharcar o solo caso a irrigação não seja bem manejada. Por conservar mais água e manter a temperatura do solo mais elevada, pode ainda favorecer maior incidência de doenças de solo, como a murcha-bacteriana e a murcha-de-fitóftora (*Phytophthora capsici*).

Além do gotejamento superficial, isto é, com as laterais instaladas na superfície do solo, o gotejamento subsuperficial pode ser utilizado para o pimentão com redução do consumo de água (IRRIGATION TRAINING AND REASEARCH CENTER, 1996; SILVA et al., 1997). A prática pode ser vantajosa em situações especiais como, por exemplo, quando se utiliza água com qualidade sanitária inferior e não se deseja contato da planta ou frutos com ela. A

profundidade de instalação dos gotejadores varia entre 10 cm e 30 cm, dependendo do tipo de solo. Dependendo da profundidade dos gotejadores e tipo de solo, é necessário que se irrigue por aspersão durante o estádio de estabelecimento inicial das plantas.

Outro uso do sistema por gotejamento é quando se faz o cultivo de pimentão em substratos especiais, como fibra de coco, lã de rocha, etc. Nesse caso, o sistema presta-se a aplicar a solução nutritiva (água e nutrientes) às plantas. Em decorrência de o volume de água armazenada no substrato ser reduzido, são requeridas várias irrigações por dia, até 15 vezes dependendo do substrato, tipo de contentor e evapotranspiração da cultura (ETc). A quantidade de água por irrigação deve ser suficiente para causar entre 20% e 30% de drenagem, como forma de evitar a salinização do substrato e garantir o balanço adequado de sais na zona radicular (CARRIJO; MAROUELLI, 2002; MAROUELLI et al., 2005).

Necessidade de água das plantas

Como a maioria das hortaliças, o pimentão é altamente sensível à deficiência e ao excesso de água no solo. As plantas são mais sensíveis ao deficit hídrico durante o florescimento, a formação e o desenvolvimento dos frutos (MAROUELLI et al., 1996). A falta de água durante a floração causa redução do pegamento dos frutos, enquanto durante as fases iniciais de frutificação pode restringir a translocação de cálcio, favorecendo o surgimento de frutos com podridão apical; pode ainda acarretar problemas de escaldadura de

frutos em virtude da redução da cobertura foliar (HARTZ et al., 2008).

Similarmente a outras solanáceas, o ciclo fenológico do pimentão não segue o modelo clássico das hortaliças que é dividido em quatro estádios (inicial, vegetativo, reprodutivo e maturação), porque o estádio reprodutivo e o de maturação se sobrepõem. Em outras palavras, existem ao mesmo tempo plantas em pleno florescimento, com frutos em desenvolvimento e com frutos maduros (HEDGE, 1997). Além disso, o ciclo pode se estender por períodos de até 5 ou mais meses, o que vai depender principalmente da sanidade das plantas e do tipo de fruto desejado, se verde ou maduro (coloridos).

A necessidade total de água da cultura depende essencialmente das condições climáticas e da duração do ciclo, variando de 450 mm a 650 mm. Em condições de cultivo protegido, a ETc é 20% a 30% menor do que em cultivos em campo (MARTINS et al., 1994; TEODORO et al., 1993). Entretanto, sendo o ciclo um pouco mais longo que em condições de campo, a necessidade total de água no cultivo protegido pode igualar-se ou, até mesmo, superar a do cultivo em campo.

Para efeito de manejo da água de irrigação, a evapotranspiração de referência (ETo) pode ser estimada por diversos métodos disponíveis na literatura, com destaque para o “FAO Penman-Monteith”, considerado padrão para a estimativa de valores diários de ETo (ALLEN et al., 1998). A ETc é obtida multiplicando-se a ETo pelo coeficiente de cultura (Kc).

Na ausência das informações climáticas necessárias à utilização da equação “FAO Penman-Monteith”, dados de evaporação do tanque Classe A podem ser utilizados para estimar a ETo, pois integram os

efeitos de todos os fatores climáticos que afetam a evapotranspiração. Dessa forma, fatores de correção apropriados (Kp) devem ser utilizados para a obtenção da ETo (MAROUELLI et al., 1996). Valores de Kp entre 0,65 e 0,85 são bastante razoáveis para a maioria das condições. Para cultivo protegido, com o tanque instalado dentro da casa de vegetação, Carrijo e Marouelli (2002) sugerem valores de Kp entre 0,75 e 0,90. Deve-se considerar que condições de alta umidade relativa do ar e baixa velocidade do vento estão associadas a maiores valores de Kp.

Por causa da particularidade da cultura do pimentão com relação à sobreposição de diversos estádios do seu ciclo, não é muito simples estabelecer valores de Kc para a cultura durante todo o ciclo de desenvolvimento. Mesmo assim, sugerem-se os valores médios listados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios de coeficiente de cultura (Kc) para pimentão, conforme o estádio de desenvolvimento das plantas, e os sistemas de irrigação e de produção utilizados.

Estádio[1]	Aspersão/sulco	Gotejamento[2]	
		Sem *mulching*	Com *mulching*
Inicial (I)	0,55[3]	0,40	0,15
Vegetativo (II)	0,55	0,40	0,15
Floração/frutificação (III)	0,80	0,70	0,50
Produção plena (IV)	1,05	1,05	0,85
Declínio de produção (V)	0,90	0,85	0,70

[1] Estádio I: transplante até pegamento de mudas; II: até início de floração; III: até primeiros frutos atingirem 50% de tamanho; IV: até 1ª colheita após pico de produção; V: até última colheita.
[2] Os valores de Kc para gotejamento já integram coeficientes de ajustes para compensar a menor perda de água por evaporação.
[3] Para turno de rega (TR) de 1 dia, usar Kc = 1,05; TR = 2 dias, Kc = 0,85.
Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Marouelli et al. (2008) e Nuez Viñals et al. (1996).

Manejo da água de irrigação

O manejo de água consiste basicamente na determinação do momento apropriado de irrigar e da quantidade correta de água a ser aplicada. O manejo é importante no processo de produção de pimentão como um todo, pois afeta expressivamente o rendimento da cultura, a qualidade dos frutos, a incidência de doenças e os consumos de água e de energia.

O pimentão pode ser cultivado em diferentes tipos de solos, com texturas e capacidades de retenção de água distintas. Todavia, solos de textura mais fina, como os argilosos, devem ser manejados com muito cuidado com relação à água de irrigação, pois têm maior capacidade de retenção e, quando a drenagem não é adequada, podem favorecer a ocorrência da murcha-de-fitóftora, que é a doença mais comum da cultura (LOPES; ÁVILA, 2003).

Outro problema associado ao manejo inadequado é a podridão apical. Como o cálcio se move prioritariamente para as folhas e partes jovens das plantas que estão em franco crescimento, a podridão apical nos frutos ocorre porque o cálcio tem seu movimento na direção dos frutos significativamente reduzido em condições de deficit hídrico (HOCHMUTH, 2003). O problema é agravado quanto menor for a disponibilidade de cálcio no solo.

O manejo de água na cultura do pimentão, em condições de campo ou cultivo protegido, pode ser realizado por diversos métodos, como turno de rega, balanço de água e tensão de água no solo (MAROUELLI et al., 1996).

Turno de rega

O método do turno de rega pré-calculado, ou calendário de irrigação, consiste no estabelecimento do intervalo entre as irrigações, em determinado período ou estádio da cultura, com base no consumo diário médio histórico de água pelas plantas (ETc) e na lâmina d'água facilmente disponível no solo para as plantas. Como não envolve o uso de equipamentos ou de determinações em tempo real da evapotranspiração ou da umidade do solo, o método é relativamente simples.

A profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, que é aquela que contém cerca de 80% das raízes, depende da idade da planta, do tipo de solo, da fertilidade, entre outros. Para plantas em plena frutificação, a profundidade efetiva pode ser tomada entre 40 cm e 50 cm (MAROUELLI et al., 2008; SILVA et al., 1997). Por ser afetada por diferentes fatores, recomenda-se que a profundidade seja determinada para cada condição de cultivo e estádio da cultura, o que pode ser feito de forma qualitativa e direta por meio da abertura de uma trincheira perpendicular à fileira de plantio (MAROUELLI et al., 1996).

O valor do fator de consumo (f), que depende das condições locais de cultivo, como tipo de solo e sistema de irrigação, pode ser tomado entre 0,3 (textura grossa) e 0,5 (textura média para fina) na maioria dos casos, o que significa deixar a planta consumir de 30% a 50% da água disponível do solo (MAROUELLI et al., 2008; TEODORO, 1986).

Como a ETc é, nesse método, determinada a partir de dados climáticos históricos, o método do turno de rega tem a desvantagem de ser afetado pelas variações climáticas e/ou precipitações durante

o período de cultivo. Nesses casos, é necessário fazer ajustes, seja no tempo de irrigação, seja na postergação desta, em virtude da ocorrência de chuvas ou variações climáticas bruscas. Marouelli et al. (2008) desenvolveram uma tabela que pode ser utilizada para estimar em quantos dias as irrigações devem ser prorrogadas, em razão da precipitação e do número de dias desde a última irrigação. Em regiões áridas e semiáridas ou durante períodos secos, quando as condições climáticas são mais estáveis, tal problema é menos significativo.

A preocupação com turno de rega torna-se pouco relevante quando as irrigações são realizadas por gotejamento, pois nesse caso as regas podem ser feitas diariamente ou mesmo várias vezes por dia. Entretanto, é interessante reafirmar o cuidado que se deve ter para não aplicar água em excesso, pois, além de doenças e problemas de aeração do sistema radicular, haverá perdas de nutrientes por lixiviação e de água por percolação profunda. Assim, a irrigação por gotejamento em regime de alta frequência deve estar associada necessariamente à aplicação de baixos volumes de água.

Balanço de água no solo

O balanço de água no solo consiste no controle sistemático de fatores como a precipitação pluviométrica, a lâmina de irrigação, a ETc, o escoamento superficial e a percolação profunda. A forma mais simples do balanço resume-se nos controles da lâmina de irrigação e da ETc. Esse é um caso típico de cultivo protegido em que se podem desvaler os demais fatores componentes do balanço, se a irrigação for manejada criteriosamente. Com o emprego dessa forma simplificada, a irrigação é feita quando o somatório da

evapotranspiração, estimada diariamente, for igual ou superior à disponibilidade real de água no solo, sendo aplicada a lâmina necessária para repor a capacidade de campo.

Em condições de campo, é comum ocorrerem precipitações pluviométricas, o que acrescenta certa complexidade ao processo de balanço de água. Nesse caso, a precipitação efetiva deve ser subtraída da ETc. Os procedimentos para estimar a precipitação efetiva são complicados, pois ela depende de fatores como capacidade de armazenamento e teor de água do solo, cobertura vegetal, declividade do terreno, intensidade da precipitação, entre outros. Marouelli et al. (1996) apresentam um procedimento simplificado para estimar a precipitação efetiva.

Tensão de água do solo

O manejo consiste em irrigar todas as vezes que a tensão de água do solo atingir um valor crítico que não cause estresse às plantas e não prejudique sua produção. Para pimentão irrigado por gotejamento, vários trabalhos têm mostrado que a tensão crítica, medida a cerca de 50% da profundidade efetiva das raízes, varia de 8 kPa a 25 kPa (HOCHMUTH, 2003; PEREIRA, 1995), cujo menor valor é indicado para solos de textura grossa e/ou estádios mais críticos ao deficit de água. Para irrigações por aspersão e sulco, a tensão crítica varia entre 40 kPa e 50 kPa durante os estádios vegetativo e de floração e entre 20 kPa e 30 kPa durante o desenvolvimento de frutos (BATAL; SMITTLE, 1981).

Uma vez definida a tensão crítica para o reinício da irrigação, a lâmina de irrigação pode ser obtida com o auxílio de uma curva de

retenção de água do solo, a qual relaciona teor de água no solo com a tensão com que essa água está retida.

A tensão deve ser monitorada diariamente por meio de um sensor. Para solos arenosos e condições de alta demanda evaporativa da atmosfera, a frequência deve ser maior. Tensiômetros são os sensores mais indicados para a avaliação direta da tensão no campo. Um sensor simples, de baixo custo e que não requer manutenção é o Irrigas® (MAROUELLI; CALBO, 2009). O sensor, desenvolvido pela Embrapa Hortaliças, está disponível no mercado nas versões de 15 kPa, 25 kPa e 40 kPa. Vários outros tipos de sensores podem ser utilizados para avaliar indiretamente a tensão da água do solo com o auxílio da curva de retenção. Estudo realizado por Marouelli et al. (2005) também demonstrou a viabilidade do uso de sensores do tipo Irrigas® para o manejo de água em diferentes tipos de substratos.

Manejo simplificado

Na falta de equipamentos ou informações consistentes que possam ser utilizadas para estimar a ETc, ainda é possível fazer o manejo de água na cultura do pimentão com precisão razoável. Marouelli et al. (2008) desenvolveram um procedimento simplificado, com base na construção de tabelas de ETc e de turno de rega, o qual permite ao usuário manejar as irrigações por aspersão de forma prática e simples, sem a necessidade de equipamentos e cálculos complicados.

Manejo nas fases iniciais do pimentão

O cultivo de pimentão no Brasil é feito com a utilização de mudas, as quais geralmente são preparadas em bandejas. O substrato utilizado deve ser desinfestado para evitar a ocorrência do tombamento, doença causada por diversos fungos de solo. Após a semeadura, as irrigações devem ser leves e frequentes para evitar a formação de crostas e não dificultar a germinação das sementes e a emergência das plântulas.

Depois da germinação até o transplante, período de 20 a 25 dias, as mudas devem ser irrigadas diariamente com o cuidado de não causar encharcamento do substrato e prejudicar as plântulas.

Na fase de formação de mudas, as irrigações são geralmente feitas por aspersão, com regador manual, mangueira ou microaspersores. O importante é não utilizar jatos de água ou gotas grandes para não danificar as sementeiras ou não prejudicar as mudas.

Após o transplante das mudas no local definitivo, previamente irrigado, as regas devem ser feitas diariamente, sem excessos, até o completo pegamento, quando o manejo de água deve seguir os procedimentos discutidos anteriormente. A primeira irrigação antes do transplante deve ser suficiente para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, na profundidade até cerca de 30 cm.

Paralisação das irrigações

A paralisação das irrigações em época inadequada pode prejudicar o rendimento e a qualidade dos frutos. No caso do pimentão para a produção de frutos verdes, quando a planta continua o florescimento mesmo com frutos sendo colhidos, as regas devem prosseguir até quando a produção não seja mais rentável sob o ponto de vista econômico.

Para a produção de frutos maduros, isto é, de coloração vermelha, amarela, entre outras, há a necessidade de reduzir e paralisar as irrigações para que haja uma maturação mais uniforme. Em condições normais, um fruto de pimentão torna-se maduro entre 30 e 40 dias após atingir o ponto de colheita de fruto verde. Convém salientar que o solo, se bem irrigado durante o ciclo, pode conter significativas quantidades de água, suficientes para suprir parte das necessidades da planta até o momento da colheita.

Como sugestão, as irrigações devem ser paralisadas entre 3 e 10 dias antes da última colheita, sendo o menor valor para solos com retenção de água abaixo de 0,94 mm cm^{-1} e ETo acima de 5 mm dia^{-1} (MAROUELLI et al., 2008). Para gotejamento, em razão do menor volume de solo molhado, considerar entre 50% e 70% dos valores acima.

A paralisação das irrigações é mais importante no caso de cultura do pimentão para a produção de páprica. Durante o estádio de maturação, o excesso de água prejudica a qualidade de frutos e favorece doenças, principalmente quando a irrigação for realizada por aspersão, enquanto o déficit hídrico moderado produz frutos mais pungentes, com maiores teores de sólidos solúveis e de matéria seca (MAROUELLI; SILVA, 2004). Assim, as irrigações devem ser interrompidas entre 7 e 15 dias antes da colheita, sendo

o menor valor para solos arenosos e condições de alta demanda evaporativa da atmosfera (ETo > 5 mm dia^{-1}).

Exigências nutricionais

A cultura do pimentão requer solos com pH entre 5,5 e 6,5, que é a faixa que os nutrientes presentes no solo se encontram nas formas mais disponíveis às plantas. Solos ácidos devem ser devidamente corrigidos com aplicações de calcário antes do plantio, em quantidade determinada de acordo com a análise do solo.

Em termos de absorção de macronutrientes, o pimentão os absorve de acordo com a seguinte ordem decrescente: K, Ca, N, Mg, S e P (FILGUEIRA, 2003). No caso de micronutrientes, as quantidades requeridas de boro, manganês, cobre e zinco são pequenas, podendo causar toxicidade às plantas se forem aplicados em excesso (HOCHMUTH, 2003).

As hortaliças da família das solanáceas geralmente absorvem expressivas quantidades de nutrientes, as quais estão diretamente relacionadas às produções de frutos e de matéria seca. Esse processo é muito influenciado por variáveis genéticas e ambientais. Para produzir uma tonelada de frutos, a cultura do pimentão utiliza de 3,0 kg a 3,5 kg de N, de 0,8 kg a 1,0 kg de P e de 5 kg a 6 kg de K (HEDGE, 1997). Isso significa que essas relações devem ser observadas no processo de adubação da cultura, levando em consideração as prováveis perdas, indisponibilidades, sinergismos e

antagonismos que ocorrem com os nutrientes durante todo o processo de produção.

Outro fator importante em termos de requerimentos nutricionais diz respeito ao momento de aplicar os fertilizantes. Segundo Hegde (1997), o período de maior necessidade de suprimento de NPK tem início em torno de 10 dias após o começo do florescimento e vai até o princípio da maturação dos frutos. Essa constatação é também, de certa forma, compartilhada por Burt et al. (1995), Hochmuth e Smajstrla (2003) e Scaife e Bar-Yosef (1995), que apresentaram curvas de absorção de N e K considerando o referido período como crítico.

Por sua vez, aplicações excessivas de N favorecem o desenvolvimento vegetativo das plantas de forma “luxuriante”, fazendo que a maioria do cálcio da planta se mova para as folhas e pontos de crescimento da planta em detrimento dos frutos (HARTZ et al., 2008; HOCHMUTH, 2003). Já o excesso de potássio no solo causa aumento da salinidade, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas raízes, principalmente se fornecido na forma de cloreto (SILVA, 1998).

O cálcio e o magnésio têm também grande importância na nutrição do pimentão. O cálcio tem especial importância porque seu desequilíbrio ou deficiência causa podridão apical nos frutos. Esse distúrbio fisiológico, frequentemente associado ao deficit hídrico, também pode ocorrer em virtude do excesso de nitrogênio e potássio. Além disso, vários fatores que causam injúrias às raízes, como nematoides e danos mecânicos, podem inibir a absorção do cálcio, provocando sua deficiência (HOCHMUTH, 2003). Já a deficiência de magnésio causa clorose nas folhas mais velhas, que

não deve ser confundida com doença virótica, pois ocorre em plantas esparsas (FILGUEIRA, 2003).

Para a definição das quantidades de nutrientes a serem aplicadas, além dos fatores considerados anteriormente, é primordial dispor da análise química do solo. Geralmente os solos contêm certas quantidades de macro e micronutrientes, as quais devem ser consideradas tanto por questões econômicas, quanto para evitar aplicações excessivas e trazer problemas de antagonismos e toxicidade para as plantas.

Para o cultivo do pimentão sob irrigação por sulco ou por aspersão, Filgueira (2003) recomenda, para solos de fertilidade mediana a baixa, a aplicação no sulco de transplante de 40 kg ha^{-1} de N, 350 kg ha^{-1} a 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 120 kg ha^{-1} a 180 kg ha^{-1} de K_2O. Acrescenta que, em razão do ciclo relativamente prolongado da cultura e da elevada produtividade dos híbridos atuais, é necessário que se adicionem de 80 kg ha^{-1} a 120 kg ha^{-1} de N e também de K_2O, parcelados em quatro a seis aplicações. A matéria orgânica, na base de 30 t ha^{-1} de esterco de curral ou de 10 t ha^{-1} de esterco de galinha bem curtido, é também recomendada para ser aplicada no sulco de transplante. Fosfatagem de toda a área também é recomendada para solos pobres, devendo ser feita com alguns meses de antecedência ao plantio.

Manejo de fertirrigação

O manejo de fertirrigação consiste no estabelecimento dos critérios de aplicação de nutrientes via água de irrigação. Esses critérios, uma vez definidas as quantidades, incluem desde a seleção das fontes e formas dos nutrientes até o estabelecimento da frequência e parcelamento das aplicações durante o ciclo da cultura.

Na seleção das fontes dos nutrientes, é importante observar as características de solubilidade e compatibilidade, assim como de disponibilidade e custos dos fertilizantes. A solubilidade e a compatibilidade estão intimamente relacionadas com entupimento de gotejadores, que é o maior problema operacional do sistema por gotejamento. Os micronutrientes, o fósforo, o cálcio e o magnésio são sabidamente problemáticos para aplicações via irrigação pelos entupimentos que podem causar em razão do risco de precipitação. Além disso, as principais fontes de fósforo e de alguns micronutrientes têm baixa mobilidade no solo. Por tais razões, é geralmente recomendado que todo o fósforo e os micronutrientes sejam aplicados em pré-plantio (HARTZ et al., 2008; HOCHMUTH, 2003). Contudo, em solos com teor de P inferior a 20 mg dm^{-3}, pode ser vantajoso o fornecimento de 50% de todo o fósforo, de forma parcelada, via água de irrigação.

Já o fornecimento de nitrogênio e potássio via fertirrigação, por causa da alta solubilidade e mobilidade no solo, é altamente recomendado. Para o pimentão, é indicado ainda que cerca de 50% do cálcio também seja aplicado via irrigação para garantir o suprimento desse nutriente e evitar o aparecimento de podridão apical (SILVA et al., 2000).

Por questões econômicas e agronômicas, a seleção correta dos fertilizantes a serem utilizados é muito importante. As plantas, em

geral, têm requerimentos diferenciados por determinados íons como nitrato ou amônio, em função do estádio de desenvolvimento. Além disso, os custos do nitrogênio e do potássio são bastante diferenciados dependendo da fonte. Por exemplo, o custo do nitrogênio cuja fonte é nitrato de potássio (13,5% N) é várias vezes superior àquele cuja fonte é ureia (45% N). Em compensação, o nitrato de potássio contém expressiva quantidade de K_2O (46%), que é excelente fonte de potássio.

Outro fator relacionado aos íons acompanhantes que deve ser observado é a acidificação do solo quando se utilizam quantidades expressivas de sais de amônio e mesmo a ureia, em que o nitrogênio na forma amídica se transforma rapidamente em amônio e posteriormente em nitrato. Para o pimentão, há também a preocupação relacionada ao íon cloreto quando se utiliza o cloreto de potássio (60% K_2O) como fonte de K, pois também é mais barato que o nitrato de potássio. Nesse caso, deve-se observar que as plantas de pimentão são relativamente sensíveis ao excesso de cloreto, que é prejudicial ao crescimento das raízes e à absorção de nutrientes, especialmente em cultivo protegido (SILVA, 1998).

Dadas essas características e condições, e muitas vezes a necessidade de balancear as quantidades dos nutrientes essenciais com as fontes disponíveis, é muito comum a combinação de vários fertilizantes nos processos de fertirrigação. Por exemplo, podem ser combinados nitrato de potássio, nitrato de cálcio (15,5% N e 19% Ca), ureia e cloreto de potássio, tanto em quantidades quanto em épocas de aplicação.

Com base no relatado acima e em estudos realizados no Distrito Federal por Silva et al. (2000), sugere-se que a fertirrigação de

pimentão seja feita com ureia, do transplante até o florescimento (cerca de 50 dias depois do transplante) e, a partir de então, sejam combinados nitrato de potássio e nitrato de cálcio de acordo com as necessidades. Na fase inicial, especialmente em cultivos em campo aberto, também pode ser utilizado o cloreto de potássio próprio para fertirrigação.

Quanto à frequência da fertirrigação, esta pode ser feita tantas vezes quantas forem as aplicações de água. Muitas vezes, entretanto, isso não é prático ou econômico. Dessa forma, a aplicação de fertilizantes pode ser realizada de uma a duas vezes por semana. Mesmo em solos arenosos da Flórida, a fertirrigação semanal é recomendada desde que esses solos tenham baixo potencial de lixiviação (HOCHMUTH, 2003).

No que diz respeito ao parcelamento, isto é, à definição das quantidades de nutrientes a serem aplicadas em determinados momentos do ciclo fenológico da cultura, geralmente N e K recebem o mesmo tratamento. Em pré-transplante, podem ser aplicados de 10% a 20% desses nutrientes (HOCHMUTH, 2003; SILVA et al., 2000), e o restante deve ser dividido ao longo do ciclo.

Silva et al. (2000) adaptaram curvas de suprimento apresentadas por Burt et al. (1995), Hochmuth e Smastrjla (2003) e Scaife e Bar-Yosef (1995) com base em frações do ciclo fenológico da cultura. O parcelamento sugerido para as quantidades restantes de N e K consiste em dividir o ciclo da cultura, estimado em 26 a 30 semanas após o transplante, em frações de 10%, e para cada fração aplicar, respectivamente, 5%, 7%, 10%, 13%, 15%, 15%, 15%, 13%, 5% e 2% dos nutrientes. Caso sejam aplicadas quantidades diferentes em

pré-transplante, a distribuição do restante durante o ciclo deve ser proporcional às porcentagens apresentadas.

O processo de fertirrigação deve ser criterioso visando evitar aplicações desuniformes ou deficientes às plantas. Primeiramente, todo o sistema de gotejamento deve ser pressurizado para, em seguida, iniciar a injeção dos fertilizantes. Por último, após a injeção das quantidades necessárias, a irrigação deve continuar e ser suficiente para lavar toda a tubulação e fazer que os nutrientes sejam devidamente aplicados ao solo. O produtor deve ainda atentar para a qualidade da água e para que não sejam injetados, simultaneamente, fertilizantes incompatíveis, que podem acarretar a formação de precipitados na tubulação.

Mesmo realizando a fertirrigação de forma criteriosa, é recomendável que o produtor se mantenha sempre alerta para identificar deficiências ou outros problemas na cultura a tempo de programar ajustes ou medidas corretivas. A forma mais prática e rápida de monitoramento é o teste das concentrações de N e K na seiva do pecíolo das folhas. Isso pode ser feito com a ajuda de testadores iônicos apropriados, que são encontrados no mercado especializado. Cada estádio de desenvolvimento da cultura tem seus níveis adequados de suficiência. Hochmuth (2003) sugere que, na fase de início do florescimento do pimentão, por exemplo, as concentrações de N (nitrato) e K, suficientes para um bom desenvolvimento, devam estar em torno de 1.500 mg kg^{-1} e 3.200 mg kg^{-1} (ppm) respectivamente.

Outro aspecto fundamental na fertirrigação do pimentão é relacionado ao uso de água ou soluções salinas, pois as plantas são relativamente sensíveis à salinidade e não toleram condições com

condutividade elétrica acima de 2 dS m^{-1} (MEDEIROS, 1998). Além disso, no processo de fertirrigação, há sempre o risco de salinização do solo, principalmente em cultivo protegido, onde o solo é utilizado de forma intensiva.

A salinização, em regra, ocorre em razão do uso de quantidades excessivas de fertilizantes e/ou de águas salinas, associado à falta de lixiviação natural do excesso de sais acumulados no solo, que, em condições normais, é realizada pela chuva. Sendo assim, é recomendável que no manejo da cultura sejam incluídas práticas para evitar a salinização do solo por meio da aplicação mais criteriosa de fertilizantes e/ou pela lavagem periódica do excesso de sais do solo.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 56).

BATAL, K. M.; SMITTLE, D. A. Response of bell pepper to irrigation, nitrogen and plant population. **Journal of the American Society Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 106, n. 3, p. 259-262, 1981.

BURT, C. M.; O´CONOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University-Irrigation Training and Research Center, 1995. 295 p.

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, 2002. Suplemento.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 412 p.

HARTZ, T. K.; CANTWELL, M.; LESTRANGE, M.; SMITH, R. F.; AGUIAR, J.; DAUGOVISH, O. **Bell pepper production in California**. Oakland: University of California-Division of

Agriculture and Natural Resources, 2008. 4 p. (Vegetable Production Series. Publication, 7217).

HEDGE, D. M. **Nutrient requirements of solanaceous vegetable crops**. Taipei, TW: Food & Fertilizer Technology Center, 1997. 9 p. Disponível em: <http://www.agnet.org/library/eb/441/>. Acesso em: 20 fev. 2009.

HOCHMUTH, G. J. **Fertilization of pepper in Florida**. Gainesville: University of Florida: IFAS Extension, 2003. 10 p. (Circular, 1168).

HOCHMUTH, G. J.; SMAJSTRLA, A. G. **Fertilizer application and management for micro (drip)-irrigated vegetables**. Gainesville: University of Florida: IFAS Extension, 2003. 33 p. (Circular, 1181).

IRRIGATION TRAINING AND REASEARCH CENTER. **Row crop drip irrigation on bell peppers study**: underwood ranches. San Luis Obispo: California Polytechnic State University-Irrigation Training and Research Center, 1996. 24 p.

LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C. **Doenças do pimentão**: diagnose e controle. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2003. 96 p.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com Sistema Irrigas®**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 16 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 69).

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G.; CARRIJO, O. A. Avaliação de sensores do tipo Irrigas® para o controle da irrigação em hortaliças cultivadas em substratos. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 88-95, 2005.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Pimenta: como, quando e quanto irrigar. **Cultivar Hortaliças e Frutas**, Pelotas, v. 4, n. 24, p. 10-13, 2004.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Pimentão: como, quando e quanto irrigar. **A Lavoura**, Rio de Janeiro, v. 110, n. 662, p. 18-22, 2007.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH, 1998. 15 p. (EMBRAPA-CNPH. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 11).

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2008. 150 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: EMBRAPA-CNPH, 1996. 72 p.

MARTINS, G.; CASTELLANE, P. D.; VOLPE, C. A. Influência da casa de vegetação nos aspectos climáticos e em épocas de verão chuvoso. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 12, n. 2, p. 131-134, 1994.

MEDEIROS, J. F. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. 1998. 152 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

NUEZ VIÑALS, F.; GIL ORTEGA, R.; COSTA GARCÍA, J. **El cultivo de pimientos, chiles y ajies**. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1996. 607 p.

PEREIRA, E. P. **Avaliação do crescimento e da produtividade de pimentão amarelo (*Capsicum annuum* L.) sob diferentes potenciais matriciais de água no solo, em condições de casa de vegetação**. 1995. 61 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SCAIFE, A.; BAR-YOSEF, B. **Nutrient and fertilizer management in field grown vegetables**. Basel: International Potash Institute, 1995. 104 p. (IPI. Bulletin, 13).

SILVA, M. A. G. **Efeito do nitrogênio e potássio na produção e nutrição do pimentão em ambiente protegido**. 1998. 86 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, W. L. C.; GORNAT, B.; SILVA, H. R.; MAROUELLI, W. A. Preliminary studies on subsurface drip fertigation for greenhouse vegetables. In: ENCONTRO DAS AGUAS: FÓRUM INTERAMERICANO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1., 1997, Fortaleza. **Trabalhos apresentados**... Fortaleza: IICA, 1997. 1 CD-ROM.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A.; FONTES, R. R.; MORETTI, C. L. Fontes de nitrogênio para fertirrigação de pimentão em ambiente protegido via gotejamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, p. 822-823, 2000. Suplemento.

TEODORO, R. E. F. **Efeito da irrigação no crescimento e produção do pimentão (*Capsicum annuum* L.) conduzido em casa de vegetação e em condições de campo**. 1986. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TEODORO, R. E. F.; OLIVEIRA, A. S.; MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*capsicum annuum* L.) em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 327-343, 1993.

Capítulo 26

Irrigação e fertirrigação na cultura do tomate

Waldir Aparecido Marouelli
Osmar Alves Carrijo
Ronessa Bartolomeu de Souza
Washington Luiz de Carvalho e Silva

Introdução

O tomateiro é originário da América do Sul, na região compreendida entre o Equador e o norte do Chile, sendo encontrado, na forma silvestre ou cultivada, do nível do mar até 2.000 m de altitude. A planta é tolerante a uma ampla variação de temperatura. No entanto, para que ocorra uma boa polinização e alta taxa de pegamento dos frutos, consideram-se ideais temperaturas médias noturnas em torno de 18 °C e diurnas ao redor de 25 °C. Temperaturas extremas influenciam a maturação irregular dos frutos e o aparecimento de anomalias como lóculo aberto, rachaduras e frutos ocos (LOPES; STRIPARI, 1998).

Alta umidade relativa do ar favorece o aparecimento de doenças, prejudicando o adequado desenvolvimento das plantas, resultado da menor transpiração e absorção de água e nutrientes. A ocorrência de baixa umidade relativa e de altas temperaturas, que inicialmente

aumenta a taxa de transpiração das plantas, provoca o fechamento dos estômatos, com abortamento das flores em razão de uma polinização deficiente (LOPES; STRIPARI, 1998). Considera-se ideal para a redução dos problemas fitossanitários e o aumento da produtividade a umidade relativa entre 50% e 70%. Quanto ao fotoperíodo, o tomateiro é considerado indiferente.

O tomateiro cultivado é o *Lycopersicon esculentum* de porte determinado ou indeterminado. Teoricamente, todo tomateiro de porte indeterminado é de hábito de crescimento perene enquanto os de porte determinado são anuais (PAPADOPOULOS, 1991). Independentemente do hábito de crescimento, as plantas associam-se ao solo ou substrato para satisfazer quatro necessidades essenciais que são a água, os nutrientes, o oxigênio e o suporte físico. O oxigênio é suprido livremente pelo ar da atmosfera e o suporte é condição intrínseca do solo ou substrato. Neste capítulo, será abordado o suprimento adequado dos outros dois fatores essenciais, a água por meio da irrigação e os nutrientes via fertilização de base e fertirrigação.

Na irrigação da cultura do tomate, devem-se levar em consideração aspectos de solo, água, planta e clima. Alguns aspectos de manejo de água são muito importantes para se obter o máximo rendimento das culturas, como o sistema de irrigação (como irrigar), a frequência de irrigação (quando irrigar) e a quantidade de água a ser aplicada (quanto irrigar).

As recomendações para a fertirrigação da cultura do tomate devem ser baseadas na marcha de absorção de nutrientes pela planta, nos teores de nutrientes do solo e na produtividade esperada. Na prática, isso não tem ocorrido, o que pode acarretar desequilíbrios

nutricionais na planta, salinização do solo e problemas ambientais decorrentes do processo de lixiviação.

Sistemas de irrigação

Vários são os sistemas que podem ser utilizados para a irrigação da cultura do tomate, cada um apresentando características próprias, custos variáveis, vantagens e desvantagens.

A irrigação por sulcos é a mais utilizada em cultivo de tomateiro de mesa em campo; a por aspersão, em cultivo de tomateiro para processamento e a por gotejamento, em cultivo protegido.

Irrigação por sulcos

Em razão do caráter itinerante do tomateiro de mesa, a irrigação por sulcos é utilizada de uma forma generalizada pelos produtores por apresentar menor custo de implantação (R$ 2.000,00 a R$ 3.000,00 ha^{-1}). O menor custo é porque os produtores não utilizam tubulação de distribuição de água nem fazem nivelamento prévio do terreno e utilizam sulcos relativamente curtos (< 50 m) e fechados no final. O fornecimento de água, geralmente realizado por meio de um tubo flexível (diâmetro de 75 mm), é interrompido quando a água atinge o final do sulco. Para esse tipo de manejo, o sulco deve ser largo (40 cm a 50 cm) e profundo (30 cm), para que o volume de água contido seja suficiente para umedecer a camada de solo onde a maior parte das raízes do tomateiro esteja contida.

Embora pouco utilizada pelos produtores de tomate, a sistematização do terreno possibilita o uso de sulcos mais longos e/ou a distribuição uniforme da água. A declividade dos sulcos, que depende principalmente do tipo de solo, não deve ultrapassar 2%, sendo esse o limite para solos argilosos e pouco sujeitos à ação erosiva da água. A vazão a ser aplicada deve ser a máxima que não cause erosão no sulco, sendo dependente do tipo de solo e da declividade dos sulcos. A vazão deve ser determinada para cada condição específica, mas varia geralmente entre 0,4 L s^{-1} e 2,0 L s^{-1} (BERNARDO, 1986). Para que se reduzam as perdas de água por percolação profunda e por escoamento superficial, utiliza-se a máxima vazão possível até a água atingir o final do sulco, para então reduzi-la a um valor mínimo capaz de manter todo o sulco com água durante o tempo preciso para se aplicar a lâmina necessária no final do sulco.

Os sistemas por sulcos, comparativamente aos demais sistemas de irrigação, têm geralmente baixa eficiência (<50%), requerem grande quantidade de água, utilizam mais mão de obra e apresentam maior dificuldade para o manejo racional da irrigação em virtude das características inerentes ao próprio sistema.

A irrigação por sulcos favorece maior propagação de doenças de solo, como as murchas bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), de esclerócio (*Sclerotium rolfsii*), de fusário (*Fusarium oxysporum*) e de verticílio (*Verticillium dahliae*), podridão-de-esclerotínia (*Sclerotinua sclerotiorum*), assim como a infestação por nematoides (*Meloidogyne* spp.) (LOPES; SANTOS, 1994). Por não lavar os ovos e o próprio inseto da folhagem com a água de irrigação, favorece ainda a incidência de insetos-praga como a traça-do-tomateiro *(Tuta absoluta*), a mosca-branca (*Bemisia tabaci* e *Bemisia argentifolii)*, o

pulgão (*Myzus persicae)* e os tripes (*Frankliniella* spp. e *Thrips* spp.). Contudo, por não lavar os resíduos dos agrotóxicos da folhagem, favorece o controle químico das doenças e pragas.

Irrigação por aspersão

Comparativamente à irrigação por sulcos, a aspersão requer menos uso de mão de obra, possibilita melhor distribuição de água sobre o solo, não requer sistematização do terreno e permite que os nutrientes sejam aplicados via água de irrigação. No entanto, é de custo mais elevado (R$ 4.500,00 a R$ 12.000,00 ha^{-1}) e tem a uniformidade de distribuição de água afetada pelo vento.

A aspersão apresenta algumas deficiências que restringem seu uso no cultivo de tomate, principalmente no que se refere ao aumento das doenças foliares, favorecido pela elevação da umidade no interior do dossel vegetativo e pela lavagem dos defensivos agrícolas (agrotóxicos), que são sistematicamente usados para o controle de pragas e doenças na cultura (MAROUELLI; SILVA, 1998). Apesar desses problemas, a aspersão é o método de irrigação predominante no cultivo do tomateiro para processamento no Brasil. Entre os diferentes sistemas de aspersão, o pivô central é o mais utilizado.

As doenças da parte aérea, sejam foliares, sejam podridões dos frutos, como a mancha-bacteriana (*Xanthomonas capestris* pv. *vesicatoria*), pinta-bacteriana (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*), talo-oco (*Erwinia* spp.), pinta-preta (*Alternaria solani*) e requeima (*Phytophtora infestans*), são favorecidas pela irrigação por aspersão (LOPES; SANTOS, 1994).

Irrigação por gotejamento

O gotejamento é o sistema de irrigação mais utilizado para a produção de tomate em cultivo protegido (CARRIJO; OLIVEIRA, 1997). Nos últimos dez anos, seu uso também tem sido incrementado para o cultivo em campo, principalmente pelos produtores de tomate de mesa, com maior nível tecnológico. Mais recentemente, o sistema começou a ser utilizado por produtores de tomate para processamento, todavia, a área irrigada é ainda inferior a 1 mil hectares.

Apesar do custo relativamente elevado (R$ 6.500,00 a R$ 14.000,00 ha^{-1}), o sistema apresenta baixo uso de mão de obra, alta eficiência de aplicação de água e menor uso de água em relação aos sistemas por sulcos e aspersão. E mais, possibilita a aplicação mais uniforme de fertilizantes via fertirrigação e o uso de água e solos salinos, por manter maior diluição dos sais na zona radicular, quando em regime de alta frequência das irrigações (CARRIJO; MAROUELLI, 2002).

No sistema por gotejamento, pode ser empregado alto nível tecnológico no manejo de água e nutrientes, visto que existem no mercado controladores que permitem automatizar tanto a irrigação quanto a fertirrigação.

O gotejamento, por sua vez, favorece, até mais que a irrigação por sulcos, a propagação de doenças de solo (MAROUELLI et al., 2003b), pois mantém o teor de umidade bem mais alto, principalmente na camada superficial do solo. Apresenta também o mesmo problema da propagação e controle de insetos-praga, anteriormente relatado para a irrigação por sulcos.

Necessidades hídricas da cultura

A quantidade total de água necessária à irrigação do tomateiro, que depende principalmente das condições climáticas, do sistema de irrigação e da cultivar, varia de 350 mm a 750 mm por ciclo.

A planta de tomate apresenta quatro estádios distintos de desenvolvimento com relação às necessidades hídricas: inicial, vegetativo, frutificação e maturação. A duração de cada estádio depende principalmente da cultivar e das condições edafoclimáticas predominantes. No caso do tomateiro de mesa, as condições fitossanitárias têm grande importância na duração do ciclo total da cultura.

Estádio inicial

O estádio inicial compreende o período que vai do transplante das mudas até o estabelecimento inicial das plantas. Irrigações em excesso podem favorecer a maior incidência de doenças e causar mortalidade das plântulas. Mas, a falta de água prejudica o pegamento das mudas.

O transplantio de mudas deve ser realizado em solo previamente irrigado. A lâmina de água a ser aplicada antes do transplantio deve ser suficiente para elevar a umidade da camada de solo entre 0 cm e 30 cm até a capacidade de campo. Dependendo do tipo e da umidade inicial do solo, deve-se aplicar uma lâmina líquida entre 10 mm e 20 mm para solos de textura grossa e entre 20 mm e 50 mm para os de texturas média e fina (MAROUELLI; SILVA, 2002).

Após o transplante, as irrigações devem ser frequentes (1 a 3 dias), procurando-se manter a umidade da camada superficial do solo (0 cm a 20 cm) próximo à capacidade de campo, até o pegamento das mudas (7 a 10 dias após o transplantio). Como referência, pode-se utilizar o seguinte critério: para solos de textura grossa (arenoso), irrigar quando o tensiômetro indicar tensões entre 5 kPa e 10 kPa; para solos de textura média (franco-argiloso ou franco-arenoso), entre 10 kPa e 15 kPa; para solos de textura fina (argiloso), entre 15 kPa e 20 kPa, empregando-se o limite superior para períodos de alta evapotranspiração (CARRIJO; MAKISHIMA, 1998; CARRIJO; MAROUELLI, 2002).

Estádio vegetativo

O estádio vegetativo compreende o período entre o estabelecimento inicial das plantas e o início da frutificação. É o estádio menos crítico do tomateiro quanto ao deficit hídrico. A deficiência moderada de água favorece o desenvolvimento do sistema radicular, permitindo maior eficiência na absorção de água e nutrientes pelas raízes nos estádios posteriores. Limitações no crescimento das plantas, resultantes da ocorrência de deficits hídricos moderados, têm pequeno efeito na produção desde que o suprimento de água no estádio de frutificação seja adequado. Irrigações em excesso, tanto no estádio vegetativo, quanto nos estádios seguintes, podem favorecer maior incidência de doenças, além da lixiviação de nutrientes, especialmente de nitrato. No estádio vegetativo, a tensão de água no solo pode ser mantida em níveis mais elevados, ou seja, de 30 kPa a 70 kPa, o que propicia turnos de rega entre 3 e 7 dias (MAROUELLI et al., 2002). Em tomateiro para processamento,

irrigado por aspersão, a tensão pode ser mantida entre 100 kPa e 200 kPa, com turnos de rega de 5 a 10 dias (MAROUELLI et al., 1991). Para a irrigação por sulcos, podem-se utilizar valores de tensão semelhantes àqueles indicados para aspersão.

Estádio de frutificação

O estádio de frutificação, que se prolonga até o início da maturação ou da senescência da planta, é o mais crítico quanto à deficiência de água no solo.

A deficiência hídrica nesse estádio reduz a viabilidade de pólen e o tamanho de frutos, comprometendo a produtividade, enquanto o excesso de água promove crescimento excessivo das plantas em detrimento da produção de frutos e favorece a ocorrência de doenças do solo e da parte aérea. É o estádio em que o tomateiro atinge a máxima demanda de água.

Para fins de manejo de irrigação, tanto para o tomateiro para processamento como para o de mesa, a umidade do solo deve permanecer próxima à capacidade de campo na irrigação por gotejamento. Nos sistemas por sulcos e aspersão, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão atingir de 30 kPa a 50 kPa (ESPINOZA, 1991; MAROUELLI et al., 1991). Períodos prolongados de deficiência hídrica, seguidos de irrigação em excesso, podem causar danos fisiológicos, como rachaduras e podridão apical dos frutos.

Quando ocorrer alta infestação de patógenos de solo; visando diminuir a propagação da doença, recomenda-se irrigar de forma menos frequente, mantendo a superfície do solo mais seca, ou seja,

tensões máximas de 30 kPa a 40 kPa para solos arenosos, de 40 kPa a 50 kPa para solos francos e de 50 kPa a 70 kPa para solos argilosos, sendo os menores valores para aspersão e sulcos (CARRIJO et al., 1999).

Estádio de maturação

O estádio de maturação é o período entre o início da maturação de frutos e a colheita no caso do tomateiro para processamento, ou do declínio do vigor vegetativo das plantas até a última colheita no caso do tomateiro de mesa. Nesse estádio, há uma sensível redução do uso de água pelas plantas (20% a 50%), e a tensão de água no solo pode ser mantida a 40 kPa para a irrigação por gotejamento e a 70 kPa para sulcos ou aspersão (MAROUELLI et al., 2002). Em relação ao tomateiro para processamento, a tensão deve ser mantida entre 100 kPa e 400 kPa (MAROUELLI et al., 1991).

Irrigações em excesso em tomateiro para processamento prejudicam a qualidade de fruto e a coloração, reduzem o teor de sólidos solúveis totais e a acidez, aumentam a incidência de apodrecimento de frutos e reduzem sua conservação na planta. Para uniformizar a maturação e aumentar o teor de sólidos solúveis dos frutos, as irrigações devem ser realizadas adotando-se um turno de rega maior que no estádio anterior e paralisadas vários dias antes da colheita.

Para irrigação por gotejamento em solos de Cerrado, o maior rendimento de polpa no tomateiro para processamento é obtido quando as irrigações são paralisadas com 40% a 50% de frutos maduros, cerca de duas semanas antes da colheita. Contudo, a máxima produção de frutos frescos pode ser atingida irrigando-se

até 80% a 90% de frutos maduros, cerca de uma semana antes da colheita (MAROUELLI; SILVA, 2002). Para a aspersão, o máximo rendimento de polpa é obtido paralisando-se as irrigações quando 50% das plantas estiverem com, pelo menos, um fruto maduro, cerca de quatro semanas antes da colheita, enquanto o máximo rendimento de frutos é alcançado quando as irrigações são suspensas com 40% dos frutos maduros, cerca de duas semanas antes da colheita (MAROUELLI et al., 2002). Para tomateiro de mesa, em que se realizam várias colheitas, as irrigações devem ser realizadas até 2 a 7 dias antes da última colheita, sendo o menor valor para solos arenosos e alta demanda evaporativa da atmosfera (MAROUELLI et al., 2001).

Manejo de irrigação

O manejo racional da água nos sistemas agrícolas envolve, além dos aspectos básicos da irrigação, a preocupação constante com a qualidade da água, tanto para o eficiente funcionamento dos sistemas de irrigação, quanto para a saúde pública. Qualidade da água envolve aspectos químicos, físicos e biológicos, que se traduzem na presença de impurezas na água, as quais podem inviabilizar seu uso para a irrigação quando não devidamente tratada. As impurezas podem estar em suspensão (silte, argila, matéria orgânica e organismos vivos) ou em dissolução (sais, metais pesados, agrotóxicos e gases). Por ser o tomate de mesa um produto para consumo in natura deve-se utilizar água de boa

qualidade para a irrigação, ou seja, sem a presença de organismos patogênicos, agrotóxicos e metais pesados.

O manejo da água de irrigação engloba uma série de procedimentos para responder quando e quanto irrigar, ou seja, a frequência de irrigação e a lâmina de água a ser aplicada por irrigação. Vários são os métodos para o manejo de irrigação. Os do balanço hídrico e o da tensão da água no solo, que se baseiam na avaliação em tempo real de parâmetros relacionados à planta, ao solo e ao clima, permitem um controle preciso da irrigação. Requerem, todavia, equipamentos para medição do estado da água no solo (tensiômetros, sensores capacitivos, blocos de resistência elétrica, etc.) ou da evapotranspiração (tanque Classe A, termômetros, higrômetros, radiômetros, etc.).

Métodos baseados em dados históricos de evapotranspiração são fáceis de ser utilizados e não requerem o uso de equipamentos, porém, apresentam menor precisão que os métodos do balanço hídrico e o da tensão.

Método da tensão da água no solo

A tensão da água no solo é a força com que a água está retida pelo solo, podendo ser mensurada com o uso de tensiômetros. As irrigações devem ser reiniciadas quando a tensão da água no solo estiver nos intervalos críticos indicados para cada estádio de desenvolvimento da cultura. Durante o estádio vegetativo da cultura, dois tensiômetros devem ser instalados a 10 cm e dois a 20 cm de profundidade, enquanto a partir da frutificação devem ser instalados a 20 cm e a 40 cm de profundidade. As irrigações devem-se basear nas leituras dos tensiômetros instalados na menor profundidade. As

leituras dos tensiômetros mais profundos auxiliam na avaliação da quantidade de água aplicada, por exemplo: a) se as leituras corresponderem a umidades superiores à da capacidade de campo, está ocorrendo drenagem e deve-se diminuir a quantidade de água aplicada; b) se as leituras indicarem umidades bem abaixo da capacidade de campo, deve-se aumentar a quantidade de água aplicada.

A quantidade de água a ser aplicada por irrigação é determinada pela capacidade de retenção de umidade pelo solo em razão de suas características físicas. Existem diferentes maneiras de se determinar quanto irrigar conforme descritas em outros capítulos. Para o manejo usando-se sensores de tensão em sistemas pressurizados, o tempo de irrigação pode ser calculado pela seguinte equação:

$$T_i = \frac{C \text{ x } (Ls - Li) \text{ x } D_s \text{ x } Z \text{ x } d_E \text{ x } d_L \text{ x } Am}{Efi \text{ x } Q_E} \quad (1)$$

em que T_i é o tempo de irrigação em minutos (h); C a constante para conversão de unidades igual a 600 para a vazão do emissor em L h^{-1} e 0,6 para a vazão em m^3 h^{-1}; Ls o limite superior de umidade gravimétrica (g de água por g de solo seco) na profundidade de instalação dos tensiômetros; Li o limite inferior de umidade gravimétrica (g de água por g de solo seco), ou seja, a umidade correspondente à tensão crítica que se pretende reiniciar as irrigações; D_s a densidade do solo (g cm^{-3}); Z a profundidade do perfil de solo a ser irrigado (profundidade efetiva do sistema radicular) (cm); d_E a distância entre os emissores de água (aspersores ou gotejadores) (m), d_L o espaçamento entre as linhas

de emissores em (m); A_m a fração de área molhada (decimal) de 10 cm a 15 cm de profundidade, que, na aspersão, é igual a 1 e, no gotejamento, deve ser avaliada no campo ou estimada conforme Carrijo e Marouelli (2002); Efi a eficiência da irrigação (decimal), que de forma geral varia de 0,50 a 0,85 na aspersão e de 0,85 a 0,95 no gotejamento, e Q_E a vazão do emissor (L h^{-1} ou m^3 h^{-1}).

Na irrigação por aspersão e sulcos, Ls é a capacidade de campo; na irrigação por gotejamento, é a máxima umidade que não causa problema de aeração (umidade a -3 kPa para solos arenosos, 5 kPa para solos francos e 10 kPa para solos argilosos).

Exemplo: um produtor deseja irrigar uma cultura de tomate já em plena produção, via gotejamento. O solo é franco-arenoso e para esse tipo de solo Ls = 0,40 g g^{-1} para uma tensão de 5 kPa; Li = 0,37 g g^{-1} para uma tensão de 10 kPa; Ds = 1,1 g cm^{-3}; a profundidade do sistema radicular é de 30 cm. O produtor está usando um tubo gotejador com vazão de 1,7 L h^{-1} por emissor; o espaçamento entre gotejadores é de 0,3 m e entre linhas é de 1,0 m. A eficiência de irrigação é de 0,9 (90%). Em observações de campo, o produtor verificou que a área molhada era de 50%. Calcular o tempo de irrigação para repor a umidade do solo até seu limite superior.

Solução:

$$T_i = \frac{600(0{,}40 - 0{,}37) \text{ x } 1{,}1 \text{ x } 30 \text{ x } 0{,}3 \text{ x } 1{,}0 \text{ x } 0{,}50}{0{,}9 \text{ x } 1{,}7} = 58 \text{ minutos}$$

Método da evapotranspiração da cultura

Nesse método, o momento de irrigar pode ser determinado por meio de um sensor de umidade como no método anterior, pelo balanço de água ou usando-se turno de rega fixo para cada estádio da cultura.

O tempo de irrigação é calculado em virtude do somatório da evapotranspiração da cultura (ETc), desde a última irrigação, e da intensidade de aplicação de água e da eficiência do sistema. A ETc é calculada multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ETo) pelo coeficiente da cultura (Kc). O valor de Kc varia principalmente conforme as características da planta, como idade, hábito de crescimento, cultivar, sanidade da cultura, sistema de irrigação e, em menor escala, com as condições climáticas. Assim, dados de Kc podem ser extrapolados, dentro de certos limites, entre localidades e climas (ALLEN et al., 1998). A ETc na irrigação por gotejamento é menor que em outros sistemas de irrigação, pois nem toda a superfície do solo é molhada, o que significa que há uma menor perda de água por evaporação. Dessa maneira, a ETc deve ser ajustada para compensar essa menor perda por evaporação, o que pode ser feito adotando valores de Kc específicos para gotejamento. Dados de Kc médios para a cultura do tomateiro com e sem *mulching*, cultivado em campo e sob proteção, podem ser visualizados na Tabela 1.

O tempo de irrigação pelo método da ETc é computado por:

$$T_i = \frac{C \text{ x } \Sigma ETc \text{ x } d_L \text{ x } d_E}{EFi \text{ x } \mathrm{Q_E}} \qquad (2)$$

em que C é a constante para conversão de unidades igual a 60 para Q_E em L h^{-1} e 0,06 para Q_E em m^3 h^{-1} e ΣETc a evapotranspiração da cultura entre duas irrigações consecutivas (mm).

Exemplo: um produtor deseja irrigar uma cultura de tomate de mesa já em plena produção (90 dias). A ETc determinada com o uso do tanque Classe A é de 5,0 mm dia^{-1}. As irrigações são diárias e está sendo usado um tubo gotejador com vazão de 1,7 L h^{-1} por emissor; o espaçamento entre gotejadores é de 0,3 m e entre linhas é de 1,0 m. A eficiência da irrigação é de 90%. Calcular o tempo de irrigação para repor a quantidade de água evapotranspirada no período.

Na Tabela 1, o Kc para irrigação por gotejamento é 1,2. Então, o tempo de irrigação é:

$$T_i = \frac{60 \text{ x } 5{,}0 \text{ x } 1{,}0 \text{ x } 0{,}3}{0{,}9 \text{ x } 1{,}7} = 59 \text{ minutos}$$

Tabela 1. Coeficiente de cultura (Kc) para a estimativa da evapotranspiração do tomateiro irrigado por gotejamento, aspersão e sulcos.

Tipo de tomate	Sistema de irrigação	Estádio da cultura[1]			
		I	II	III	IV
Para processamento	Gotejo	0,45	0,40	1,00	0,40
	Aspersão	0,45[2]	0,60	1,05	0,35
De mesa em campo	Gotejo	0,50	0,60	1,10	0,70
	Sulco	0,50	0,80	1,20	0,60
De mesa em casa de vegetação	Gotejo	0,40	0,75	1,10	0,80
Cultivo com *mulching* e irrigação por gotejo					
De mesa em campo		0,40	0,60	1,10	0,60
De mesa em casa de vegetação		0,20	0,55	1,05	0,65

[1] Estádios: I – Inicial, II – vegetativo, III – frutificação, IV – maturação.

(2) Para turno de rega (TR) de 1 dia, usar Kc = 1,05; para TR de 2 dias, usar Kc = 0,85

Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Carrijo e Marouelli (2002), Marouelli et al. (2001) e Marouelli e Silva (2002).

Necessidades nutricionais

Aspectos gerais

Para o desenvolvimento normal, as plantas necessitam de 16 elementos, dos quais 13 são nutrientes minerais. De acordo com as quantidades requeridas, esses minerais são classificados como macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); enquanto os micronutrientes são: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn). Além dos macro e micronutrientes minerais, a planta necessita do carbono (C), do hidrogênio (H) e do oxigênio (O), que são providos pelo ar e pela água. Os nutrientes mais utilizados via fertirrigação são aqueles com maior mobilidade no solo, como o K e o N. No entanto, a fertirrigação com P e Ca, principalmente via gotejamento e em solos com baixos a médios teores desses nutrientes, pode proporcionar melhor rendimento do tomateiro (CARRIJO; HOCHMUTH, 2000).

O nitrogênio está presente na constituição de aminoácidos e proteínas, desempenhando papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo talvez o elemento de maior influência na produção das culturas (JONES JUNIOR, 1997). A carência de nitrogênio reduz o crescimento e provoca clorose das folhas mais velhas, que podem até secar se a deficiência permanecer por longo tempo. Em períodos quentes e de alta luminosidade, a quantidade de N pode ser aumentada para possibilitar um contínuo crescimento e maximizar a produção

potencial de frutos (PAPADOPOULOS, 1991). No entanto, o excesso de N no tomateiro provoca um vigoroso crescimento vegetativo em detrimento da produção de frutos, intensifica a coloração verde, afeta negativamente a qualidade do fruto e as plantas ficam mais susceptíveis ao ataque de insetos-praga e doenças (CARRIJO et al., 2000).

As principais fontes de adubos nitrogenados para uso na fertirrigação do tomateiro são o nitrato de cálcio (14% a 15,5% de N), o nitrato de potássio (13% N), o nitrato de amônio (34% N), a ureia (45% de N), o fosfato monoamônico purificado (MAP – 11% de N), o fosfato diamônico purificado (DAP – 16% de N) e o sulfato de amônio (21% de N). No início do ciclo da cultura, podem-se usar fontes amoniacais, as preferidas das plantas jovens, ou amídicas, que são transformadas no solo para amônio, como o MAP e a ureia, entretanto, a partir do início do florescimento do primeiro cacho, as formas nítricas são mais prontamente absorvidas e translocadas para a parte aérea da planta. Assim, considerando-se os aspectos custos, lixiviação e volatização, é recomendável que, a partir da floração, haja um balanço entre as formas nítricas e amoniacais (amídicas), podendo-se aplicar uma combinação de 30% a 65% do N na forma nítrica e o restante na forma amídica (ureia), que é o fertilizante de menor custo por unidade de N.

O potássio age como catalisador de algumas reações enzimáticas, estando envolvido com a turgidez das células, e abertura e fechamento dos estômatos, e com os processos de síntese, acumulação e transporte de carboidratos. Plantas com deficiência de K produzem frutos de qualidade inferior, sendo mais azedos, com maturação desuniforme, ocos e com manchas esverdeadas na parte basal, afetando a maturação (JONES JUNIOR, 1997;

PAPADOPOULOS, 1991). Altos teores de K na planta podem aumentar a resistência ao armazenamento pós-colheita.

As fontes de K mais usadas para o tomateiro são o cloreto de potássio (50% de K), o nitrato de potássio (36% de K), o sulfato de potássio (41% de K) e o fosfato monopotássico (28% de K). O cloreto e os sulfatos devem ser evitados em solos salinos ou propensos à salinização, como no cultivo em casas de vegetação.

O fósforo desempenha papel fundamental nos processos energéticos da planta e está presente nos compostos que constituem as substâncias responsáveis pela transmissão do código genético das células (DNA e RNA). A carência de fósforo reduz o crescimento da planta, principalmente após a emissão das folhas novas. Os sintomas de deficiência aparecem primeiramente nas folhas mais velhas, que apresentam coloração arroxeada, iniciando-se nas nervuras. O excesso afeta a assimilação do nitrogênio, tornando o tecido duro e quebradiço, e diminui o crescimento da planta provavelmente por afetar a absorção de Zn, Fe e Cu (CARRIJO et al., 2000).

Todo o P é geralmente aplicado pelos produtores no plantio na forma de formulações NPK ou usando metade do P como superfosfato simples e metade como termofosfato com micronutrientes (Yoorin®). Resultados de pesquisa têm demonstrado que a aplicação de cerca de 50% do P em pré-plantio na forma de superfosfato simples e 50% em fertirrigação na forma P solúvel pode aumentar significativamente a produtividade do tomateiro, comparativamente à aplicação de 100% do P em pré-plantio (FALCÃO, 2003; SILVA et al., 2003). Mas a fertirrigação com P em água salobra provoca precipitações de sais no interior das

tubulações e o entupimento dos gotejadores. As principais fontes de fósforo para a fertirrigação em tomateiro são o ácido fosfórico (22% a 32% de P), o fosfato monopotássico (MKP – 23% de P), o fosfato monoamônico purificado (MAP – 26% de P) e o fosfato diamônico purificado (DAP – 16% de P).

O cálcio é absorvido em grandes quantidades pelo tomateiro (70 kg ha^{-1} a 140 kg ha^{-1}), sendo responsável pelo bom desenvolvimento radicular e fortalecimento da parede celular (MAROUELLI; SILVA, 2002). O suprimento de cálcio e magnésio às plantas é normalmente realizado por meio da calagem, com a aplicação de calcário dolomítico ou calcítico, ou por ocasião do plantio, usando-se fertilizantes contendo tais elementos.

A fertirrigação com cálcio a partir do florescimento é uma prática usada na irrigação por gotejamento do tomateiro de mesa para diminuir a ocorrência de podridão apical; pulverizações foliares de cálcio são práticas também recomendadas por Marouelli e Silva (2002) para tomateiro, com a finalidade de processamento. As fontes mais comuns são o nitrato (34% de Ca) e o cloreto de cálcio (22% de Ca), sendo o cloreto a fonte de Ca de mais baixo custo. A aplicação de Ca, no entanto, pode acarretar problemas de entupimento de gotejadores, não devendo ser realizada no mesmo dia de qualquer fonte de sulfato, nitrato ou fósforo. Para o suprimento de Mg, quando necessário, a fonte mais usada é o sulfato de magnésio (13% Mg).

As adubações pós-plantio do tomateiro irrigado por gotejamento e por aspersão devem ser realizadas, preferencialmente, por meio da fertirrigação. Nesse caso, as fontes de nutrientes devem ser completamente solúveis. Diversas formulações de adubos NPK,

sólidos ou líquidos, estão disponíveis no mercado para aplicação via água de irrigação. Todavia, fontes com elementos simples devem ser preferidas, em razão do menor custo e das necessidades variáveis ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Necessidade total de nutrientes

Determinações da necessidade total de adubação P e K têm sido realizadas individualmente, a partir de tabela de recomendações de adubação existente para regiões e/ou estados do Brasil, em razão da análise do solo ou de informações sobre extração total de nutrientes pela cultura ou por meio da prática do produtor. Entretanto, um bom método de recomendação de adubação para fins de fertirrigação deve levar em consideração a necessidade nutricional, a disponibilidade de nutrientes no solo e a produtividade almejada, e adotar a filosofia de restituição dos nutrientes para a manutenção da fertilidade natural do solo (LOPES, 1999).

A seguir, apresenta-se um procedimento para o cálculo da necessidade total de nutrientes para a fertirrigação do tomateiro conforme as etapas: a) estabelecimento do nível de segurança a ser mantido no solo; b) cálculo da disponibilidade inicial de nutrientes no solo; c) cálculo da necessidade total de nutrientes a serem fornecidos à cultura.

Nível de segurança

Nível de segurança é a fertilidade mínima que se pretende manter no solo ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Na Tabela 2, apresentam-se faixas dos níveis de segurança de nutrientes no

solo para o cultivo do tomateiro. Para o fósforo, sugere-se como adequado o valor inferior da referida faixa, sendo 32, 48 e 80 mg dm^{-3} de P para solos argilosos (>35% de argila), médios (15% a 35%) e arenosos (<15%) respectivamente. Para o potássio, sugere-se como teor adequado o valor médio de 115 mg dm^{-3} de K.

Tabela 2. Níveis de segurança de fósforo, potássio e micronutrientes no solo para o cultivo do tomateiro.

Nutriente (mg dm^{-3})	Textura do solo (% de argila)			$K^{(1)}$ (mg dm^{-3})
	Argiloso (>35%)	Franco (15% a 35%)	Arenoso (<15%)	
$P^{(1)}$	32–48	48–80	80–120	90–140
Teor de micronutrientes (mg dm^{-3})				
Zn	Mn	Fe	Cu	B
1,5–2,0	8–12	30–40	1,2–2,0	0,60–1,0

(1) Sugere-se usar como níveis de segurança para P o valor inferior das faixas e para K o valor médio.
Fonte: adaptado de Alvarez et al. (1999) e Fontes (1999).

Em relação ao nitrogênio, em que não há um método confiável para a determinação do N disponível no solo, a recomendação da adubação nitrogenada será baseada na metodologia proposta por Papadopoulos (1999).

Disponibilidade inicial de P e K no solo

A disponibilidade inicial de nutrientes no solo para a cultura é função da profundidade de solo explorada pelo sistema radicular da cultura, do teor inicial do nutriente no solo e do nível de segurança, e varia com o sistema de irrigação.

A disponibilidade real de nutrientes para as plantas é diretamente proporcional à fração de área molhada (Am), que é a área explorada pelas raízes e deve ser avaliada para cada condição local. No gotejamento, pode ser estimada usando-se a equação: $Am = W/d_L$, em que d_L é a distância entre as linhas de emissores e W é a largura da faixa ou do diâmetro molhado a 10 cm de profundidade. Como orientação, a maioria dos solos agrícolas irrigados por gotejamento tem W = 0,20 m a 0,30 m para solos arenosos, 0,50 m a 0,70 m para solos francos e 0,80 m a 1,0 m para solos argilosos (KELLER; BLIESNER, 1990). Na aspersão e sulcos, 100% da área é molhada, ou seja, Am = 1,0.

A disponibilidade inicial de nutrientes por unidade de área (A) pode ser calculada usando-se a seguinte equação:

$$DI_{P\ ou\ K} = 10(T_i \times T_S) \times Z \times Am \quad (3)$$

em que $DI_{P\ ou\ K}$ é a disponibilidade inicial de P ou K (g ha^{-1}); T_i o teor inicial de nutriente no solo, fornecido pela análise química, na camada a ser explorada pelo sistema radicular (g m^{-3} ou mg dm^{-3}); T_S o nível de segurança do nutriente no solo, obtido da Tabela 2 (g m^{-3}); Z a profundidade efetiva do sistema radicular ou perfil do solo considerado (m) e Am a fração de área molhada (decimal).

Cálculo da necessidade total de P e K

A necessidade total dos nutrientes P e K é obtida considerando-se a disponibilidade inicial do nutriente no solo, a quantidade de fertilizantes necessária para produzir o dossel vegetativo e uma tonelada de frutos e a produtividade desejada, da seguinte forma:

$$NT_{P\ ou\ K} = (ND_{P\ ou\ K} + Q_{P\ ou\ K} \times P) - DI_{P\ ou\ K} \quad (4)$$

em que $NT_{P\ ou\ K}$ é a necessidade total do nutriente P ou K a ser aplicada em adubação (kg ha^{-1}), $ND_{P\ ou\ K}$ a necessidade de P ou K para produzir o dossel vegetativo (kg ha^{-1}), $Q_{P\ ou\ K}$ a quantidade de P ou K necessária para produzir uma tonelada de frutos (kg t^{-1}), P a produtividade desejada (t ha^{-1}) e $DI_{P\ ou\ K}$ a disponibilidade inicial de P ou K (kg ha^{-1}).

A adsorção do P nos solos tropicais é maior que nos solos subtropicais. Assim, a eficiência de aplicação do P é menor nos solos brasileiros. Em relação ao P, a recomendação deve variar também com a capacidade tampão de fosfatos do solo. Dessa forma, recomenda-se corrigir a quantidade de P por 0,80, 1,00, 1,25 e 1,50 para solos arenosos (< 15% de argila), francos (15% a 35% de argila), argilosos (35% a 60% de argila) e muito argilosos (>60% de argila) respectivamente. Para simplificar o procedimento, foi desenvolvida a Tabela 3 em que ND_P e Q_P podem ser determinados conforme o tipo de solo e o sistema de irrigação.

Tabela 3. Quantidades de P e K a serem aplicadas para a formação do dossel vegetativo (ND_P e ND_K), em kg ha^{-1}, e para a produção de uma tonelada de frutos (Q_P e Q_K), em kg t^{-1}, conforme o sistema de irrigação e a textura do solo.

Sistema de irrigação	Textura do solo (% de argila)								Potássio	
	Arenoso (<15%)		Franco (15% a 35%)		Argiloso (35% a 60%)		Muito argiloso (> 60%)			
	ND_P	Q_P	ND_P	Q_P	ND_P	Q_P	ND_P	Q_P	ND_K	Q_K
Gotejamento	32	1,1	40	1,4	50	1,8	60	2,2	120	3,5
Aspersão	38	1,6	48	2,1	60	2,7	72	3,2	135	3,9

Utilizando-se metodologia análoga e adaptando-se coeficientes propostos por Papadopoulos (1999), e já se considerando a

eficiência da aplicação e do sistema de irrigação, recomenda-se a aplicação de 3,5 kg de K por tonelada de frutos produzidos (Q_K) para gotejamento e 3,9 kg t^{-1} de K para aspersão e sulcos. Para produzir o dossel vegetativo (ND_K), aplicar 120 kg ha^{-1} e 135 kg ha^{-1} de K.

Quando as quantidades totais de fósforo e potássio ($NT_{P\ ou\ K}$) calculadas pelo procedimento acima forem menores que 83 kg ha^{-1} de K e 43, 65 e 86 kg ha^{-1} de P, respectivamente para solos arenosos, médios e argilosos, recomenda-se a aplicação dessas quantidades como o mínimo de suprimento para as plantas.

Cálculo da necessidade total de N

A recomendação da adubação nitrogenada pode ser determinada em virtude da necessidade do nutriente para a produção do dossel vegetativo e para a obtenção da produtividade almejada (PAPADOPOULOS, 1999). Desse modo, adaptando-se os valores desse autor e corrigindo-se pela eficiência de aplicação e de irrigação, recomenda-se utilizar 110 kg ha^{-1} de N para a produção do dossel vegetativo e 2,3 kg de N para cada tonelada de frutos produzidos na irrigação por gotejamento. Na aspersão e sulcos, utilizar 135 kg ha^{-1} de N para a produção do dossel vegetativo e 2,8 kg de N para cada tonelada de frutos produzidos. Assim:

$$NT_N = (ND_N + Q_N \times P) \quad (5)$$

em que NT_N é a necessidade total de N a ser aplicada em adubação (kg ha^{-1}), ND_N a necessidade de N para produzir o dossel vegetativo (kg ha^{-1}), Q_N a quantidade de N necessária para produzir uma tonelada de frutos (kg t^{-1}) e P a produtividade desejada (t ha^{-1}).

Em solos ricos em matéria orgânica e N, caracterizados por vigoroso desenvolvimento vegetativo do tomateiro com haste grossa, folhagem verde-escura, folhas da parte apical curvadas, grandes cachos de flores e pequeno pegamento de frutos, deve-se ajustar a quantidade de N a ser aplicada.

Necessidade total de micronutrientes

Para solos naturalmente pobres em micronutrientes ou que não foram adubados com esses nutrientes nos últimos anos, recomenda-se aplicar, por hectare, em pré-plantio, 15 kg de sulfato de zinco, 10 kg de bórax, 10 kg de sulfato de cobre e 0,5 kg de molibdato de amônio (FONTES, 1999). O ferro e o manganês geralmente estão presentes em quantidades adequadas nos solos brasileiros.

Exemplo de cálculo: Estabelecer um manejo de fertirrigação (NPK) por gotejamento para a cultura do tomateiro de mesa cultivado em campo, com frequência de aplicação semanal. O solo é de textura média (franco-argiloso). A análise química apresentou os teores iniciais de P = 10 mg dm^{-3} e K = 60 mg dm^{-3}. A profundidade efetiva do sistema radicular do tomateiro foi considerada igual a 0,30 m. O espaçamento da cultura é de 0,5 m x 1,0 m. O solo é de baixa fertilidade natural. A produtividade que se pretende alcançar é de 150 t ha^{-1}. Considerar uma fração de área molhada (Am) no gotejamento de 0,60.

Cálculos

a. Estabelecimento dos níveis de segurança

Os níveis de segurança T_s que se pretende manter no solo de textura média são obtidos na Tabela 2, P = 48 mg dm^{-3} e K = 115 mg dm^{-3}.

b. Cálculo da disponibilidade inicial de P e K no solo

A equação 4 é usada para se determinar a disponibilidade inicial dos nutrientes P e K no solo, cujo sistema radicular da planta aprofunda-se em média 0,30 m:

Para o P, tem-se T_i = 10 mg dm^{-3} (análise do solo). Então: DI_P = 10 x (10 - 48) mg dm^{-3} x 0,30 m x 0,6 = - 68,4 kg ha^{-1} de P.

Para o K, tem-se Ti = 60 mg dm^{-3} (análise do solo). Então: DI_K = 10 x (60 - 115) mg dm^{-3} x 0,30 m x 0,6 = - 99 kg ha^{-1} de K.

Os valores negativos obtidos indicam os teores de P e K no solo que estão abaixo dos níveis de segurança.

c. Cálculo da necessidade total de P e K

Para o tomateiro irrigado por gotejamento em solo franco-argiloso, a quantidade de P e K necessária para a formação do dossel vegetativo e para cada tonelada de fruto produzido é respectivamente: para o fósforo, 40 kg ha^{-1} e 1,6 kg t^{-1} e para o potássio, 120 kg ha^{-1} e 3,5 kg t^{-1} (Tabela 3). Dessa maneira, usando-se a equação 4, têm-se:

Necessidade de P:

NT_P = (40 + 1,4 × 150) - (-68,4) = 348,4 kg ha^{-1} de P.

Para transformar P em P_2O_5, dividir a quantidade obtida de P por 0,43.

Então: $NT_{P_2O_5}$ = 348,4 / 0,43 = 810 kg ha^{-1} de P_2O_5.

Necessidade de K:

NT_K = (120 + 3,5 × 150) - (-99) = 744 kg ha^{-1} de K.

Para transformar K em K_2O, dividir a quantidade obtida de K por 0, 83.

Então: N_{K_2O} = 744 / 0,83 = 896 kg ha^{-1} de K_2O.

d. Cálculo da necessidade de N

A quantidade de N necessária para formação do dossel vegetativo e para cada tonelada de fruto é, respectivamente, 110 kg ha^{-1} e 2,3 kg t^{-1} de N. Usando-se a equação 5, tem-se:

Necessidade de N:

NT_N = (110 + 2,3 × 150) = 455 kg ha^{-1} de N.

Dessa forma, recomenda-se a aplicação total de 455 kg ha^{-1} de N, 810 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 896 kg ha^{-1} de K_2O. Sendo solo de baixa fertilidade natural, 60% do total de P será aplicado no plantio e os outros 40%, em fertirrigação. Devem-se aplicar 20% do N e K no plantio. As quantidades totais calculadas devem ser parceladas ao longo do ciclo da cultura.

Manejo de fertirrigação

As necessidades de nutrientes calculadas no item anterior são para quantidades totais a serem aplicadas como adubação de base e em fertirrigação para se obter a produtividade esperada. Como adubação de pré-plantio, deve-se aplicar uma fração da quantidade total, suficiente para criar uma concentração inicial de nutrientes na solução do solo, adequada ao desenvolvimento inicial da cultura (BARYOSEF, 1999). Então, recomenda-se aplicar em pré-plantio entre 10% e 20% da fertilização com N e K e entre 40% e 60% do P (FALCÃO, 2003; MAROUELLI; SILVA, 2002). Para solos de baixa fertilidade, aumentar as quantidades de P e K em pré-plantio.

Na adubação de base, podem-se aplicar fertilizantes menos solúveis e/ou mais baratos, como o sulfato de amônio, o cloreto de potássio, o superfosfato e o termofosfato enriquecido com micronutrientes.

A taxa de absorção diária de nutrientes pela planta para o máximo rendimento e obtenção de uma produção de qualidade é específica para a cultura e variável ao longo do ciclo e dependente principalmente das condições climáticas (BARYOSEF, 1999). A

marcha de absorção de nutrientes da cultura é uma ferramenta muito útil para se definir o parcelamento de nutrientes ao longo do ciclo da cultura. Marchas de absorção dos nutrientes N, P e K em percentuais do total a ser aplicado semanalmente, tanto para o tomateiro para processamento como para o tomateiro de mesa cultivado em campo e em ambiente protegido, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Sugestão de parcelamento de NPK em aplicações semanais via fertirrigação em tomateiro de mesa, cultivado em casa de vegetação e em campo, e para processamento.

Dias após plantio (DAP)	Quantidade relativa do nutriente a ser aplicado em fertirrigação (%)								
	Tomateiro de mesa (cultivo protegido)			Tomateiro de mesa (cultivo em campo)			Tomateiro para processamento		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	1,8	1,1	3,1	0,8	0,9	1,0	1,8	1,9	2,7
21	2,2	1,4	3,1	0,9	1,0	2,6	2,7	2,1	2,7
28	2,5	2,1	3,2	1,1	1,0	1,2	5,0	2,7	3,5
35	2,5	2,6	3,2	1,1	1,1	1,4	8,0	8,9	10,8
42	2,5	2,6	3,3	1,1	1,1	2,5	8,2	9,1	10,9
49	2,6	3,8	3,4	1,3	1,2	3,4	11,6	9,5	11,4
56	2,7	3,8	3,5	1,4	1,2	1,1	13,4	21,4	12,1
63	3,0	3,8	3,5	3,0	1,2	1,1	13,4	21,4	12,1
70	4,3	4,1	4,9	4,8	3,7	4,1	14,1	8,8	12,1
77	4,2	4,5	5,3	5,5	4,1	4,2	8,9	8,3	11,2
84	4,3	4,8	5,5	5,6	5,3	5,5	6,7	5,9	6,1
91	4,6	4,8	5,6	6,5	6,4	7,6	6,2	0,0	4,4
98	5,3	4,9	5,9	7,6	8,6	10,8	-	-	-
105	7,2	9,3	7,8	12,9	17,5	14,6	-	-	-
112	7,2	7,6	7,8	12,9	17,5	14,6	-	-	-
119	6,7	5,5	7,0	10,9	13,2	13,0	-	-	-
126	5,0	4,3	2,5	7,6	5,0	3,8	-	-	-

Dias após plantio (DAP)	Quantidade relativa do nutriente a ser aplicado em fertirrigação (%)								
	Tomateiro de mesa (cultivo protegido)			Tomateiro de mesa (cultivo em campo)			Tomateiro para processamento		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
133	5,0	4,3	2,5	7,5	5,0	3,8	-	-	-
140	5,0	4,3	2,5	7,5	5,0	3,7	-	-	-
147	3,1	2,7	1,9	-	-	-	-	-	-
154	3,1	2,7	1,9	-	-	-	-	-	-
161	3,1	2,7	1,9	-	-	-	-	-	-
168	3,1	2,7	1,9	-	-	-	-	-	-
175	1,5	1,6	1,5	-	-	-	-	-	-
182	1,5	1,6	1,5	-	-	-	-	-	-
189	1,5	1,6	1,5	-	-	-	-	-	-
196	1,5	1,6	1,5	-	-	-	-	-	-
203	1,5	1,6	1,5	-	-	-	-	-	-
210	1,5	1,6	1,3	-	-	-	-	-	-

Fonte: adaptado de Bar-Yosef (1999).

O tomateiro é muito exigente em B e Zn. Assim, é recomendável, para solos onde a análise indicar um teor menor que 0,60 mg dm^{-3} de B e menor que 1,2 mg dm^{-3} de Zn, a aplicação no plantio de 1 kg ha^{-1} a 3 kg ha^{-1} de B e de 3 kg ha^{-1} a 5 kg ha^{-1} de Zn.

A análise foliar é muito útil e mais eficiente para diagnosticar deficiências nutricionais antes do surgimento dos sintomas visuais, pois, quando os sintomas aparecem, a produção já está prejudicada. No tomateiro, principalmente o de mesa com maior ciclo, a análise foliar é adequada ao correto manejo de fertirrigação, principalmente com micronutrientes. Mas na ausência da análise foliar, para prevenir carência durante o desenvolvimento da cultura, pode-se fazer uma aplicação de um coquetel de micronutrientes

(Tabela 5), utilizando-se semanalmente 0,1 mL m^{-2} ou 40 mL por casa de vegetação de 400 m^2.

Tabela 5. Coquetel de micronutrientes a ser aplicado via fertirrigação em tomateiro cultivado em solo, na dose de 0,1 mL m^{-2} por semana.

Fertilizante	Quantidade ($g\ L^{-1}$)
Ferro quelatizado (6% Fe)	30
Ácido bórico	30
Sulfato de zinco	10
Sulfato de cobre	3

Fonte: Andrade e Gontijo (1999).

Cultivo em substrato

Os substratos são hoje muito utilizados para a produção de mudas e flores, e a sua utilização no cultivo de hortaliças, inclusive de tomate, tem sido incrementada. O cultivo de tomate em substrato deve ser realizado quando se quer obter um produto diferenciado, como o uso de menor volume de agrotóxicos, ou há fatores limitantes no solo para o cultivo, como a salinização ou doenças de solo de difícil controle.

Irrigação

Um substrato agrícola, a exemplo do solo, é constituído por três fases: sólida, líquida e gasosa. O tamanho e a distribuição das partículas do substrato (fase sólida) determinam a capacidade de

retenção da fase líquida. É dessa fase líquida que depende a disponibilidade de água para a planta, que é liberada na sua grande maioria num intervalo de tensão entre 1 kPa e 10 kPa (CORTÉS, 1999). Para efeito de comparação, a maioria dos solos agrícolas apresenta a capacidade de campo numa faixa de 6 KPa a 10 kPa.

No cultivo em substrato, a irrigação é realizada por gotejamento ou por pulsos (pequenos jatos de água de forma intermitente). Em razão do reduzido volume de substrato e, consequentemente, de água disponível, as irrigações devem ser realizadas em regime de alta frequência, tornando o manejo mais complicado comparativamente à irrigação em solo.

Dependendo do substrato, o manejo de água pode ser realizado por sensores de umidade, como tensiômetros, por pesagens dos recipientes com as plantas, pela avaliação da quantidade e condutividade elétrica (*CE*) do efluente drenado ou pela avaliação da *ETc* e *CE* da solução.

No caso de se usar sensor de umidade, é permitida a variação da tensão dentro da faixa de umidade facilmente disponível, ou seja, da “capacidade do substrato” até 5 kPa de tensão. A “capacidade do substrato” é definida como a quantidade de água que permanece no substrato após a drenagem e anterior à evaporação, de um modo geral, tensões de 1 kPa (MARTINEZ, 2002).

Avaliações iniciais realizadas na Embrapa Hortaliças indicam a possibilidade do uso de tensiômetros e sensores Irrigas® em vários tipos de substratos alternativos (fibra de coco, resíduos de madeira e casca de arroz semicarbonizada) e comerciais (MAROUELLI et al., 2002, 2003a). O uso desses sensores, todavia, pode não ser viável quando se cultiva em substrato tipo perlita ou casca de arroz,

pois pode não ocorrer um bom contato entre a cápsula porosa e o substrato, condição necessária a um bom funcionamento do equipamento.

No manejo com base no volume de efluente drenado, deve-se ajustar o tempo de irrigação e, consequentemente, o volume de solução nutritiva aplicada usando-se um temporizador, para que ocorra cerca de 20% a 30% de lixiviação (SERRANO, 1999). A drenagem visa garantir a aplicação da quantidade de água necessária ao bom desenvolvimento das plantas e retirar o excesso de nutrientes do sistema, evitando a sua salinização. Essa prática, aliada ao monitoramento da CE do efluente drenado, é uma das mais usadas para o manejo de irrigação e controle de sais nos substratos. Tem a desvantagem das altas perdas de solução nutritiva se ela não for reciclada.

No método da pesagem, determina-se a massa do conjunto (contentor, substrato e planta) que é colocada sobre uma balança fixa e disposta em local representativo no meio da cultura. Em sistemas computadorizados, a variação da massa de água é determinada em tempo real, e as irrigações são realizadas quando a variação atingir um valor preestabelecido, em razão da disponibilidade de água no substrato, suficiente para ocorrer 20% a 30% de drenagem. É um método caro, mas preciso.

Fertirrigação

Para o cultivo em substratos, todos os nutrientes, inclusive os micronutrientes, podem ser fornecidos para a planta por meio da fertirrigação. A melhor maneira de se fazer a adubação em substrato é por meio da solução nutritiva, que pode ser injetada no sistema

toda vez que se fizer a irrigação. Nesse caso, é necessário um sistema injetor de fertilizantes tipo dosador. Na Tabela 6, apresenta-se uma formulação de solução nutritiva para o cultivo do tomateiro. Em sistemas automatizados, normalmente se utilizam soluções-estoques mais concentradas, que devem ser aplicadas a uma taxa de injeção que proporcione a concentração de nutrientes necessária ao adequado desenvolvimento da cultura. Nesse sistema, em virtude da maior concentração, devem-se preparar duas diferentes soluções, “A” e “B”, que não devem ser misturadas, mas injetadas diretamente na água de irrigação. A solução “B” é constituída pelos sais de cálcio e ferro, nitrato de cálcio e ferro quelatizado (Fe-EDTA), enquanto a solução “A” é formada pelos demais macro e micronutrientes. Elas não devem ser misturadas para evitar a formação de precipitados que podem obstruir os gotejadores.

Tabela 6. Concentração final de macro e micronutrientes, condutividade elétrica e recomendação de formulação de solução nutritiva para o cultivo de tomateiro em substrato.

NO_3	NH_4	P	K	Ca	Mg	SO_4	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	CE
(Mmol L^{-1})							(µmol L^{-1})						(dS m^{-1})
Transplante ao 1º cacho													
4,7	0,4	1,6	3,1	1,5	1,6	1,6	50,1	14,6	3,1	3,1	64,7	0,5	1,0
1º ao 3º cacho													
13,1	0,5	2,3	6,9	4,3	2,6	2,6	50,1	14,6	3,1	3,1	64,7	0,5	2,0
3º cacho ao final													
19,7	0,75	3,3	10,4	6,4	3,9	3,9	50,1	14,6	3,1	3,1	64,7	0,5	2,5

Fertilizante	Fórmula química	Transplante ao 1º cacho	1º ao 3º cacho	3º cacho ao final
		g em 1.000 L		
		Solução A		
Fosfato monoamônico	$NH_4H_2PO_4$	56,00	70,00	105,00
Fosfato de potássio	KH_2PO_4	166,00	229,00	343,00

Nitrato de potássio	KNO_3	160,00	432,00	648,00
Cloreto de potássio	KCl	31,40	93,30	140,00
Sulfato de magnésio	$MgSO_4$. $7H_2O$	400,00	648,00	972,00
Sulfato de manganês	$MnSO_4$	3,20	3,20	3,20
Sulfato de zinco	$ZnSO_4$	0,80	0,80	0,80
Sulfato de cobre	$CuSO_4$	0,70	0,70	0,70
Ácido bórico (17% B)	H_3BO_3	4,20	4,20	4,20
Bórax (11% B)	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	6,40	6,40	6,40
Molibdato de sódio	$Na_2MoO_4.2H_2O$	0,13	0,13	0,13
	Solução B			
Nitrato de cálcio	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	300,00	850,00	1.275,00
Fe-EDTA (6% de Fe)		47,00	47,00	47,00

Fonte: adaptado de Hochmuth (1995).

A princípio, a fertirrigação é suficiente para realizar uma fertilização completa e correta das culturas. Entretanto, é sempre conveniente fazer uma adubação de base no substrato, para estabelecer uma concentração inicial adequada ao desenvolvimento da plântula, e uma reserva de segurança, prevenindo possíveis carências nutricionais (LOPEZ, 1998).

A automação da fertirrigação para cultivo em solo é normalmente realizada pelo uso de controladores do tipo temporizador e válvulas solenoides. No cultivo em substrato, alto rendimento pode ser alcançado quando são utilizados procedimentos computacionais e algorítmicos complexos para a automação total, precisa e em tempo real, a partir de dados fornecidos por controladores totalmente automatizados, dotados de sensores de condutividade elétrica e de pH. Tais controladores não têm sido ainda utilizados para o cultivo de hortaliças no Brasil, em razão do seu alto custo.

Diagnose do estado nutricional

Muitas vezes o manejo impreciso da fertirrigação pode provocar deficiências ou toxicidade nas plantas, salinização e acidificação do solo e contaminação do lençol freático. A cultura do tomateiro tem ciclo relativamente curto, o que não permite larga margem para a recuperação de danos causados por práticas inadequadas de fertilização. Mesmo assim, é possível detectar problemas a tempo de evitar maiores prejuízos ao rendimento da cultura.

Existem diversos procedimentos, diretos ou indiretos, que podem ser empregados para a avaliação ou diagnose do estado nutricional das plantas do tomateiro. Qualquer que seja o método utilizado, o diagnóstico será mais confiável se feito com o auxílio de uma análise visual dos sintomas, eliminando-se os possíveis efeitos de fatores varietais, ambientais ou fitossanitários (MAROUELLI; SILVA, 2002).

Método visual

Consiste na observação, caracterização e descrição de sintomas de deficiência ou toxicidade em determinada planta, para, após, compará-los com sintomas padronizados de cada nutriente para a mesma espécie ou variedade de planta.

Por ser realizado em campo, sem o uso de equipamentos, é um método muito rápido. As principais desvantagens estão relacionadas às interações antagônicas e sinergísticas entre os elementos no

solo e na planta, além de interferências e interações de diversos fatores ambientais e genotípicos, o que faz que seja perdida a especificidade dos sintomas, dificultando o diagnóstico.

Na Tabela 7 e na Figura 1, apresentam-se as características dos principais sintomas visíveis de deficiência de macronutrientes em plantas de tomateiro.

Tabela 7. Sintomas visíveis de deficiência e excesso de macronutrientes em tomateiro.

Nutriente	Sintoma
Nitrogênio	Tonalidade verde-clara a amarelada. Clorose das folhas mais velhas, com nervuras amareladas ou tonalidade rósea. Em casos mais severos, toda a planta apresenta estado de clorose. Senescência precoce. Excesso provoca uma cor verde-escura na folhagem
Fósforo	Face dorsal dos folíolos novos (nervuras e áreas internervais) com tonalidade arroxeada e face ventral com coloração verde intensa. Folíolos menores e curvados para baixo. Folhas mais velhas podem mostrar necrose e leve clorose internerval. Excesso pode provocar sintomas de deficiência de Fe e Zn
Potássio	Necrose na margem e extremidade das folhas mais velhas, com aparência de queima. Folhas velhas podem mostrar clorose internerval, enquanto os folíolos pequenos apresentam pontos necróticos entre as nervuras. As plantas podem apresentar acamamento. Excesso pode provocar deficiência de Mg e Ca
Cálcio	Flacidez dos tecidos da extremidade dos frutos, evoluindo para uma necrose deprimida, seca e negra (podridão apical). Podridão seca e negra interna do fruto (coração preto). Folíolos com extremidades recurvadas para baixo e morte das gemas terminais
Magnésio	Clorose internerval em toda a superfície dos folíolos mais velhos, com coloração amarelo-brilhante, permanecendo verde as nervuras. Em deficiência severa, as áreas amarelas vão-se escurecendo, tornando-se necrosadas

Fonte: Fontes (2000, 2001) e Jones Junior (1998).

Método de análise química foliar

É um procedimento laboratorial para a determinação das concentrações de macro e micronutrientes existentes na planta. As amostras devem ser coletadas de forma aleatória em pelo menos 30

plantas por hectare. Alguns autores sugerem que seja retirada a folha adjacente à última inflorescência (JONES JUNIOR, 1998), enquanto outros recomendam coletar a primeira folha completamente desenvolvida a partir do ápice da planta e respectivo pecíolo (HOCHMUTH, 1994). Os resultados da análise devem ser comparados com padrões existentes de níveis de nutrientes na folha de tomateiro (Tabela 8).

Tabela 8. Níveis adequados de nutrientes na folha de tomateiro (matéria seca) até meados do florescimento.

Macronutriente	Nível ($g\ kg^{-1}$)	Micronutriente	Nível ($mg\ kg^{-1}$)
N	40–60	B	25–100
P	2,5–7,5	Cu	5–20
K	30–50	Fe	40–200
Ca	10–30	Mn	40–250
Mg	4–6	Zn	20–50
S	4–12	Mo	0,3–0,5

Fonte: adaptado de Fontes (2000) e Jones Junior (1998).

Um fator limitante do método é o tempo de uma a duas semanas que leva entre a amostragem e a obtenção dos resultados de laboratório.

Método de análise da seiva

A análise de nutrientes na seiva, geralmente do pecíolo ou da folha, tem sido empregada pela rapidez e facilidade de utilização. Pode

ser uma valiosa ferramenta para monitorar o programa de fertirrigação e diagnosticar suspeitas de deficiência ou excesso de nutrientes em tempo real.

A análise, geralmente de nitrato e potássio, é feita com a utilização de kits comercializados na forma de fitas de papel e microeletrodos portáteis. A precisão desses dispositivos tem sido questionada em virtude da falta de calibração específica para determinadas condições, pois os teores de nutrientes na planta são muito influenciados por fatores ambientais e varietais (MAROUELLI; SILVA, 2002).

Níveis adequados de nitrato e potássio na seiva de pecíolos de tomateiro são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Faixas de suficiência de nitrato e potássio na seiva de pecíolos foliares frescos de tomateiro nos diferentes estádios de desenvolvimento.

Tomate	Estádio	$N\text{-}NO_3$ [(1)] (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})
Para processamento	Vegetativo	700–900	3.500–4.000
	Início da floração/frutificação	600–800	3.500–4.000
	Crescimento de fruto	500–700	3.500–4.000
	Maturação	400–600	3.000–3.500
De mesa em campo	Primeiros cachos de flores	600–800	3.500–4.000
	Primeiros frutos com 2 cm a 3 cm de diâmetro	600–800	3.000–3.500
	Primeiros frutos com 5 cm a 6 cm de diâmetro	400–600	3.000–3.500
	Período de colheitas	300–400	2.500–3.000
	Início da senescência	200–400	2.000–2.500
De mesa em casa de vegetação	Até o 2º cacho de frutos	1.000–1.200	4.500–5.000
	Do 2º até o 5º cacho de frutos	800–1.000	4.000–5.000
	Período de colheitas	700–900	3.500–4.000

[(1)] $N\text{-}NO_3 = 0{,}226 \times NO_3$.

Fonte: adaptado de Burt et al. (1995), Hochmuth (1994) e Hochmuth e Smajstrla (1997).

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 56).

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. pp. 25-32. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerias, 1999. 359 p.

ANDRADE, R. J.; GONTIJO, G. M. **Fertirrigação em hortaliças**: 1ª aproximação de fertirrigação. Brasília, DF: Emater DF, 1999. 5 p. Recomendação Técnica. Não publicada.

BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. **Advances in Agronomy**, New York, v. 65, p. 1-77, 1999.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 1986. 488 p.

BURT, C. M.; O´CONOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Irrigation Training and Research Center-California Polytechnic State University, 1995. 295 p.

CARRIJO, O. A.; HOCHMUTH, G. Tomato response to preplant-incorporated or fertigated phosphorus on soils varying in Mehlich-1 extractable phosporus. **HortScience**, Mount Vernon, v. 35, n. 1, p. 67-72, 2000.

CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. Tratos culturais. In: MAKISHIMA, N.; CARRIJO, O. A. (Ed.). **Cultivo protegido do tomateiro**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH, 1998. p. 7-13. (EMBRAPA-CNPH. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 13).

CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N.; SOUZA, A. F. Princípios de nutrição mineral, formulação e manejo da solução nutritiva. In: CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. (Ed.). **Princípios de hidroponia**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH, 2000. p. 10-18. (EMBRAPA-CNPH. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 22).

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 2, 2002. Suplemento.

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Manejo da água no produção de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 45-51, 1999.

CARRIJO, O. A.; OLIVEIRA, C. A. S. **Irrigação de hortaliças em solos cultivados sob proteção de plástico**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH, 1997. 20 p. (EMBRAPA-CNPH. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 10).

CORTÉS, E. M. Características del riego en cultivos sin suelo: exigencias en aportación y manejo: resultados experimentales en cultivo de pepino en perlita. In: FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, M.; CUADRADO GÓMEZ, I. M. (Ed.). **Cultivos sin suelo II**: Curso Superior de Especialización. . Almería: Artes Gráfica Gutenberg, 1999. p. 287-305.

ESPINOZA, W. **Manual de produção de tomate industrial no vale do São Francisco**. Brasília, DF: IICA. 1991. 301 p.

FALCÃO, L. L. **Aplicação de fósforo via fertirrigação e diagnose foliar de pimentão em cultivo protegido no Distrito Federal**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122 p.

FONTES, P. C. R. Sugestões de adubação para hortaliças. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerias, 1999. p. 171-174.

FONTES, R. R. Solo e nutrição da planta. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Ed.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia: Embrapa Hortaliças, 2000. p. 22-35.

HOCHMUTH, G. **Florida greenhouse vegetable production handbook**. Florida: University of Florida, 1995. 98 p. (University of Florida. Circular, SP-48).

HOCHMUTH, G. J. **Plant petiole sap-testing**: guide for vegetable crops. Gainesville: University of Florida-Cooperative Extension Service-Institute of Food and Agricultural Sciences, 1994. 6 p. (Circular, 1144).

HOCHMUTH, G. J.; SMAJSTRLA, A. G. **Fertilizer application and management for micro (drip)-irrigated vegetables**. Gainesville: University of Florida-Cooperative Extension Service-Institute of Food and Agricultural Sciences, 1997. 33 p. (Circular, 1181).

JONES JUNIOR, J. B. **Hydroponics**: practical guide for the soilless grower. Boca Raton: St. Lucie, 1997. 230 p.

JONES JUNIOR, J. B. **Plant nutrition**: manual. Boca Raton: CRC, 1998. 149 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: N. Reinhold, 1990. 652 p.

LOPES, A. S. Micronutrientes: filosofia de aplicação e fontes. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e**

fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerias, 1999. p. 79-86.

LOPES, C. A.; SANTOS, J. R. M. **Doenças do tomateiro**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH: EMBRAPA-SPI, 1994. 61 p.

LOPES, M. C.; STRIPARI, P. C. A cultura do tomateiro. In: GOTO, R.; TRIVELLI, S. W. (Org.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido**: condições tropicais. São Paulo: Unesp, 1998. p. 257-304.

LOPEZ, C. C. Fertirrigación: aspectos básicos. In: LOPEZ, C. C. (Ed.). **Fertirrigación**: cultivos horticolas y ornamentales. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1998. p. 63-79.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G.; CARRIJO, O. A. Viabilidade do uso de sensores do tipo IrrigasÒ para o manejo da irrigação em hortaliças cultivadas em substrato. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21. n. 2, 2003a. Suplemento.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; OLIVEIRA, C. A. S. Produção de tomate industrial sob diferentes regimes de umidade no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 9, p. 1531-1537, 1991.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH, 1998. 15 p. (EMBRAPA-CNPH. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 11).

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Tomateiro para processamento industrial**: irrigação e fertirrigação por gotejamento. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2002. 31 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 30).

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; LOPES, C. A. Irrigação por gotejamento aumenta riscos de ocorrência da murcha-bacteriana em tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, 2003b. Suplemento.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Suspensão das irrigações para a produção de tomate para processamento, nas condições de cerrados do Brasil central. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. **Anais**... Uberlândia: ABID, 2002. 1 CD-ROM.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2001. 111 p.

MARTINEZ, P. F. Manejo de substrato para horticultura. In: FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; MINAMI, K. (Coord.). **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. p. 53-76.

PAPADOPOULOS, A. P. Fertigation: present situation and future prospects. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 85-154.

PAPADOPOULOS, A. P. **Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media**. Ottawa: Minister of Supply and Services-Research Program Service, 1991. 79 p.

SERRANO, J. E. Cultivo hidropónico del tomate. In: FERNANDÉZ, F. M.; GÓMEZ, I. M. Q. (Ed.). **Cultivos sin suelo II**: Curso Superior de Especialización. Almería: Artes Gráficas Gutenberg, 1999. p. 451-483.

SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A. Estratégia de aplicação de fósforo via gotejamento em tomateiro. In: WORKSHOP TOMATE NA UNICAMP, 2003, Campinas. **Anais**... Campinas: Unicamp-Faculdade de Engenharia Agrícola, 2003. 1 CD-ROM.

Livraria Embrapa

Na Livraria Embrapa, você encontra

livros, DVDs e CD-ROMs sobre

agricultura, pecuária, negócio agrícola, etc.

Para fazer seu pedido, acesse:
www.embrapa.br/livraria

ou entre em contato conosco
Fone: (61) 3448-4236
Fax: (61) 3448-2494
livraria@embrapa.br

Você pode também nos encontrar nas redes sociais:


facebook.com/livrariaembrapa


twitter.com/livrariaembrapa