



MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM FRUTEIRAS TROPICAIS



MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM FRUTEIRAS TROPICAIS

Eugênio Ferreira Coelho
Valdemício Ferreira de Sousa
Antenor de Oliveira Aguiar Netto
Aureo Silva de Oliveira



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

EMBRAPA, 2000

Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 40

Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Rua Embrapa, s/nº - Caixa Postal 007

Telefone: (75) 721-2120 - Telex: (75) 2074

Fax: (75) 721-1118

CEP: 44380-000 - CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - BRASIL.

Tiragem: 500 exemplares

Chefia da
Embrapa Mandioca e Fruticultura

Chefe Geral

Mario Augusto Pinto da Cunha

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Aristoteles Pires de Matos

Chefe Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio

Ygor da Silva Coelho

Chefe Adjunto de Administração

José Batista da Fonseca Neto

Área de Negócios Tecnológicos - ANT

Alfredo Augusto Cunha Alves

Setor de Informação - SIN

Diane Margarete Passos dos Santos

Atividades de Editoração & Gráfica

Marineusa Silva Gonçalves

Editoração Eletrônica

Maria da Conceição Borba

Comitê de Publicações:

Domingo Haroldo R.C. Reinhardt -
Presidente

Fernando Akira Urbano Matsuura -
Representante da CNA

Ivani Costa Barbosa - *Secretária*

Mario Augusto Pinto da Cunha

Antonio Alberto Rocha Oliveira

Aldo Vilar Trindade

Alfredo Augusto Cunha Alves

Rômulo da Silva Carvalho

Ranulfo Corrêa Caldas

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F de.; AGUIAR NETTO, A de. O.; OLIVEIRA, A. S de. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais.** Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48 p. 23,5 cm. (Embrapa Circular Técnica nº 40). Bibliografia p. 45 a 48. ISSN 1516-5612.

CDD 634

©Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000

SUMÁRIO

Página

Resumo	5
Abstract	5
Introdução	6
1. Planejamento da Irrigação	7
2. Bases para o Manejo da Irrigação	8
2.1. Evapotranspiração	9
2.1.1. Método do tanque Classe A	10
2.1.2. Equação do tipo Penman	11
2.1.3. Coeficiente de cultura – K_c	12
2.2. Água disponível	13
2.2.1. Curva de retenção de água do solo	16
3. Momento da Irrigação e Quantidade de Água a Aplicar	19
3.1. Turno de rega calculado	19
3.2. Medidas no solo	20
3.2.1. Uso de sensores do estado da água do solo	20
3.2.1.1. Tensiômetro	21
3.3. Base em medidas na planta	26
3.4. Balanço de água na zona radicular	27
3.5. Base em instrumentos de evaporação	29
3.5.1. Método do tanque Classe A	29
4. Lâmina Total Necessária	30
5. Manejo da Irrigação em Fruteiras	31
5.1. Abacaxi	31
5.1.1. Métodos de irrigação	31
5.1.2. Necessidades hídricas	32
5.1.3. Momento da irrigação	32

	Página
5.2. Abacate	33
5.2.1 Métodos de irrigação	33
5.2.2. Necessidades hídricas	33
5.2.3. Manejo da irrigação	33
5.3. Banana	34
5.3.1. Métodos de irrigação	34
5.3.2. Necessidades hídricas	35
5.3.3. Manejo da irrigação	35
5.4. Citros	36
5.4.1. Métodos de irrigação	36
5.4.2. Necessidades hídricas	37
5.4.3. Manejo da irrigação	38
5.5. Goiaba	38
5.5.1. Métodos de irrigação	38
5.5.2. Necessidades hídricas	39
5.5.3. Manejo da irrigação	39
5.6. Mamão	39
5.6.1. Métodos de irrigação	39
5.6.2. Necessidades hídricas	41
5.7. Manga	41
5.7.1. Métodos de irrigação	41
5.7.2. Necessidades hídricas	42
5.7.3. Manejo da irrigação	43
5.8. Maracujá	44
5.8.1. Métodos de irrigação	44
5.8.2. Necessidades hídricas	44
5.8.3. Manejo da irrigação	45
6. Literatura Citada	45

MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM FRUTEIRAS TROPICAIS

Eugênio Ferreira Coelho¹
Valdemício Ferreira de Sousa²
Antenor de Oliveira Aguiar Netto³
Aureo Silva de Oliveira⁴

RESUMO - As incertezas quanto à contribuição das chuvas para garantir umidade adequada no solo, tem levado a grande maioria dos fruticultores a adotarem a irrigação como tecnologia indispensável ao sistema produtivo das fruteiras. O efeito potencial da irrigação em fruteiras contribui para os dois pontos mais importantes de uma economia globalizada: o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade da fruta. O presente trabalho procura transmitir conhecimentos básicos do sistema solo-planta-atmosfera, descrevendo os diversos métodos de obtenção dos parâmetros do solo, da planta e do clima necessários aos cálculos de manejo de irrigação. Métodos e sistemas de irrigação, necessidades hídricas e recomendações de manejo de irrigação são abordadas para fruteiras tropicais como: abacate, abacaxi, banana, citros, goiaba, mamão, manga e maracujá.

Termos para indexação: microaspersão; gotejamento; relação solo - água - planta

IRRIGATION MANAGEMENT IN TROPICAL FRUIT CROPS

ABSTRACT - The uncertainties of rain distribution have guided the majority of fruit farmers to adopt irrigation as a necessary technology to the fruit cropping system. The potential effect of irrigation on fruit production contributes to accomplish the two most important aims of a globalized economy: the increase in yield and the improvement in fruit quality. The present work tries to transmit basic knowledge on soil-plant-atmosphere system describing several methods for obtaining soil, plant and atmosphere parameters which are required for calculation of irrigation management. Irrigation methods and systems, water demand and recommendations about irrigation management are addressed for tropical fruit crops such as avocado, banana, citrus guava, papaya, passion fruit, pineapple and mango .

Index terms: microsprinkler; drip irrigation; soil - water - plant relationship

¹ Pesquisador da *Embrapa Mandioca e Fruticultura*, CP. 007, CEP: 44380-000, Cruz das Almas, BA.

² Pesquisador da *Embrapa Meio Norte*, CP. 01, CEP: 64000-000, Teresina, PI.

³ Professor Adjunto do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Sergipe, Campus Universitário s/n, CEP: 491000-000, Aracaju-SE.

⁴ Professor Adjunto da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, CEP: 44380-000, Cruz das Almas, BA.

INTRODUÇÃO

As fruteiras, quer sejam temperadas quer sejam tropicais, normalmente são culturas de razoáveis padrões de rentabilidade, em que incrementos de produtividade correspondem a ganhos econômicos significativos.

Os expressivos investimentos no setor e o alto valor econômico das frutas associados as incertezas quanto a contribuição das chuvas para garantir umidade adequada no solo, têm levado a grande maioria dos fruticultores a adotarem a irrigação como tecnologia indispensável ao sistema produtivo das fruteiras. Mesmo em regiões onde as precipitações são mais freqüentes, a consciência da necessidade de irrigar já é uma realidade, até mesmo para fruteiras de menor sensibilidade à deficiência hídrica, como é o caso dos citros no estado de São Paulo.

A irrigação possibilita ao produtor a aplicação de nutrientes via água, o que implica numa aplicação eficiente dos fertilizantes diretamente na zona radicular, sem interferência de mão de obra.

O efeito potencial da irrigação em fruteiras contribui para os dois pontos mais importantes de uma economia globalizada: o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade da fruta. Os aumentos de produtividade decorrentes da irrigação, pelo seu simples uso, sem monitoramento técnico rigoroso, podem ser vistos comparando as produtividades de algumas fruteiras em áreas com irrigação com as produtividades em áreas não irrigadas do Brasil (Tabela 1).

TABELA 1. Produtividades de algumas fruteiras tropicais obtidas com e sem irrigação, a partir das médias das regiões do Brasil.

Fruteira	Produtividade sem irrigação (t.ha ⁻¹)	Produtividade com irrigação (t.ha ⁻¹)	Incremento na produtividade (%)
Banana	18	25	39
Manga	12	25	108
Mamão	40 - 60	60 - 90	50
Maracujá	15	30	100

Considerando a irrigação como um suplemento tecnológico capaz de garantir a produção agrícola com altas produtividades, envolvendo altos custos de instalação e manutenção, a aplicação de água deve ser feita na quantidade certa e no momento exato. A aplicação indiscriminada de água, sem bases técnicas, conduz ao desperdício de água e energia, que não só significam gastos como podem contribuir para a degradação ambiental.

O presente trabalho apresenta informações básicas ao manejo da irrigação, além de oferecer orientação técnica específica para o manejo das fruteiras tropicais mais importantes do cenário frutícola nacional.

1. Planejamento da Irrigação

O manejo da irrigação está, antes de mais nada, condicionado à disponibilidade de água existente na propriedade rural. O produtor deve ter conhecimento do volume de água disponível anualmente e do volume de água necessário à irrigação das culturas existentes ou a serem instaladas.

Os dados necessários para determinação da quantidade de água requerida para uso em irrigação na propriedade agrícola, são os seguintes: (a) culturas a serem implantadas; (b) área correspondente a cada cultura; (c) período do ano (meses) em que a cultura requer irrigação e (d) evapotranspiração, ET, de cada cultura referente aos meses de necessidade de irrigação. O volume de água disponível para uso em irrigação será dado pela precipitação mensal média, com os valores tomados durante o período em que a cultura será irrigada, e pelo suprimento de água natural existente durante o período (rio, córrego ou poço).

Com esses dados, pode-se determinar o volume total de água necessário às culturas durante o ano, a ser fornecido pela irrigação:

$$V = S_c \cdot \sum_{i=1}^n (ET - P)_i \quad (1)$$

em que V é o volume (L); S_c é a área ocupada pela cultura (m^2); ET é a evapotranspiração da cultura (mm) e P é a precipitação (mm). Tanto a evapotranspiração como a precipitação são tomadas em valores mensais, com $i = 1$ a n , sendo n o número de meses com o solo sob déficit hídrico.

O volume total, V_t , em litros, de água necessário durante o ano depende da eficiência de irrigação (produto da eficiência de aplicação- E_a e

da eficiência de condução- E_c) e da evaporação, EV , em mm, estimada na fonte de água (reservatório) de área S (m^2) durante o período:

$$V_t = \frac{V}{(E_a \cdot E_c)} + EV \cdot S \quad (2)$$

De posse de V_t deve-se avaliar a vazão do manancial (rio, córrego ou poço) para definir a disponibilidade de água no período de cultivo para uso em irrigação. A vazão do manancial pode ser dada em valores médios diários para cada mês do período considerado.

Os cálculos acima são úteis no planejamento ou no dimensionamento da área a ser irrigada, bem como no dimensionamento do reservatório de água para irrigação, quando for o caso.

2. Bases para o Manejo da Irrigação

O manejo de água em áreas cultivadas é uma resultante de práticas que visam garantir condições de umidade do solo adequadas ao pleno desenvolvimento das plantas de forma a otimizar a produção. A necessidade de água da planta depende principalmente da transpiração.

A transpiração, T , é definida por Gardner citado por Stegman (1983) como:

$$T = \frac{\psi_s - \psi_p}{r_s - r_p} \quad (3)$$

em que ψ_s é o potencial de água no solo, ψ_p é o potencial de água da folha, r_s é a resistência ao fluxo de água no solo e r_p é a resistência ao fluxo de água na planta.

Na equação 3, o gradiente de potencial de água do solo à planta se dá por meio dos potenciais matricial, osmótico e de gravidade no solo e dos potenciais de turgor, matricial, osmótico e de gravidade na planta. De modo geral, o gradiente de potencial dentro da planta é superior ao gradiente no solo, como pode ser observado na Figura 1.

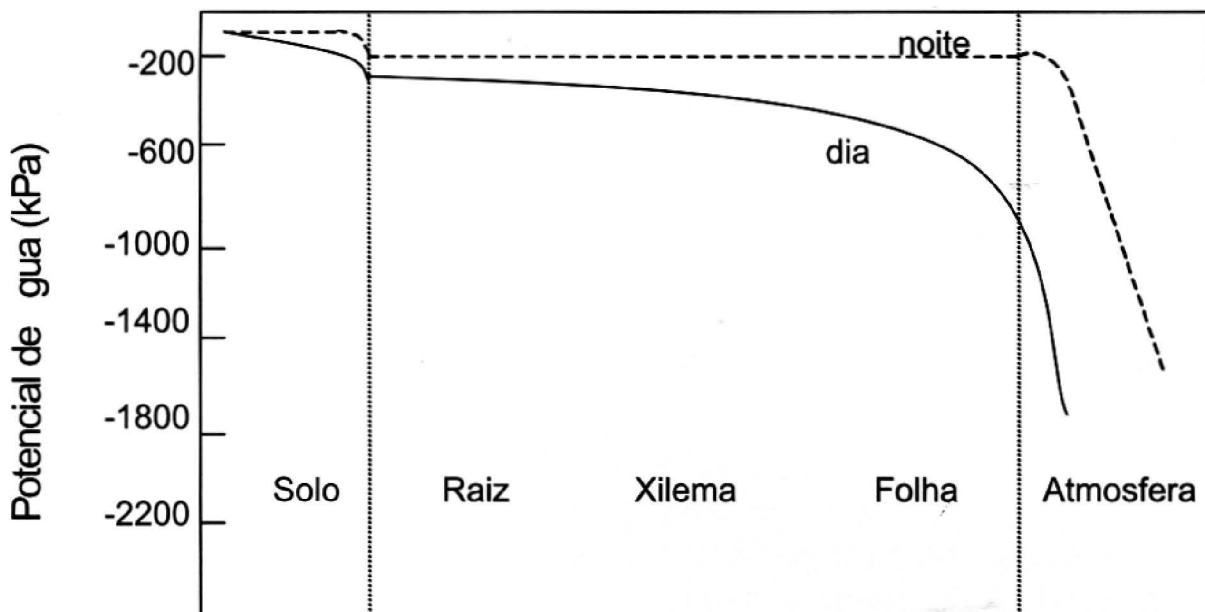


Figura 1. Variação do potencial de água no sistema solo - planta - atmosfera. Fonte: Phene (1986).

A resistência do solo ao fluxo de água é inversamente proporcional à condutividade hidráulica saturada e à densidade de comprimento de raízes. A resistência da planta ao fluxo de água é função da resistência estomática e da área foliar. A equação 3 ficaria melhor definida substituindo ψ_p pelo potencial de água no ar, ψ_a , e adicionando a resistência aerodinâmica no denominador.

A dificuldade em se quantificar a transpiração, principalmente para fins práticos, tem sido a principal razão pelo pouco uso da mesma para fins de irrigação. A transpiração é um processo difusivo e pode ser analisado em termos de resistência à difusão e ao transporte turbulento de vapor de água na atmosfera. Transpiração é um componente da evapotranspiração na qual a vaporização da água ocorre no interior da folha. O fato é que a evaporação de água do solo ocorre simultaneamente à transpiração das plantas e a separação desses processos exige instrumentos sofisticados, não usados em situações práticas.

2.1. Evapotranspiração

A evapotranspiração é um componente do balanço de energia, e representa o calor latente (evaporação de água do solo e transpiração de água das plantas) resultante da transformação da radiação líquida em calor sensível e latente do ar e aquecimento do solo.

O conhecimento da evapotranspiração de uma área cultivada, ET_c , é importante na determinação dos requerimentos de água da cultura implantada. A evapotranspiração da cultura não é fácil de ser obtida de modo direto; sua determinação requer equipamentos sofisticados que a encarece exigindo pessoal especializado para o seu manuseio. Para contornar esse problema, adotou-se como padrão a evapotranspiração de referência ET_o , para a grama batatais (*Paspalum notatum* L.), que é comum na maioria das estações agrometeorológicas do Brasil.

São diversos os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, sendo que a escolha de um ou de outro deve-se basear, principalmente, no tipo de informação agrometeorológica disponível e na precisão requerida para determinação das necessidades hídricas das culturas. Dentre esses métodos, pode-se citar o do tanque Classe A e, a título de exemplo, as equações de Penman com funções empíricas da velocidade do vento, dentre as diversas existentes.

2.1.1. Método do tanque Classe A

O tanque Classe A, para estimativa da evapotranspiração de referência, é bastante utilizado no mundo inteiro, devido, principalmente, à sua simplicidade de operação e custo relativamente baixo. Este procedimento pode ser utilizado pelos produtores em áreas irrigadas, com bastante precisão. Para se calcular a evapotranspiração de referência, por meio do tanque Classe A, precisa-se do coeficiente do tanque K_p (Tabela 2), que varia de acordo com a velocidade do vento, bordadura e a umidade relativa do ar. Assim, aplica-se a equação:

$$ET_o = ECA \cdot K_p \quad (4)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$),

ECA = evaporação no tanque Classe A ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$),

K_p = coeficiente do tanque (adimensional)

TABELA 2. Valores do coeficiente K_p em função dos dados meteorológicos da região e do meio em que o tanque está instalado.

	Posição do tanque R (m)*	Exposição A tanque circundado por grama UR % (média)			Posição do tanque R (m)*	Exposição B tanque circundado por solo nu UR % (média)		
		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70
Vento (km/dia)								
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175-425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,80
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,70
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte >700	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1977)

*Refere-se a extensão da vegetação ou do solo nu em volta do tanque

2.1.2. Equação do tipo Penman

As equações de Penman são recomendadas para estimativa da evapotranspiração diária. São equações que geram estimativas mais confiáveis de ET_o , por outro lado, exigem um maior volume de informações agrometeorológicas, como radiação líquida, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. A equação de Penman-Monteith é uma equação de determinação da evapotranspiração de natureza essencialmente física, podendo ser escrita da seguinte forma:

$$ET_c = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p \frac{(e_a - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad (5)$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura ($MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$)

R_n = radiação líquida na superfície da cultura ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)
 G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)
 ρ = densidade do ar ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 c_p = calor específico do ar ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}$)
 $(e_a - e_d)$ = déficit de pressão de vapor (kPa)
 Δ = inclinação da curva de pressão de vapor vs. temperatura do ar ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
 γ = constante psicrométrica ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
 r_a = resistência aerodinâmica à transferência de calor da superfície da folha para a atmosfera ($\text{dia} \cdot \text{m}^{-1}$)
 r_s = resistência a difusão do vapor de dentro dos estômatos para o ar ($\text{dia} \cdot \text{m}^{-1}$).

2.1.3. Coeficiente de cultura - K_c

O estudo do efeito do clima sobre o consumo de água durante as fases do ciclo da cultura pode ser feito pela determinação da razão entre a evapotranspiração máxima da cultura em uma dada fase de plantio e o valor da evapotranspiração de referência, no mesmo período (Doorenbos & Pruitt, 1977). Esta razão é conhecida como coeficiente de cultura e tem tido larga aplicação no planejamento, dimensionamento e manejo da irrigação, sendo apresentada da seguinte forma:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (6)$$

onde:

ET_c = evapotranspiração da cultura ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$);
 ET_o = evapotranspiração de referência ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$);
 K_c = coeficiente de cultivo (adimensional).

O K_c é uma função da cultura, estágio de desenvolvimento, velocidade do vento, umidade relativa, e teor de água no solo (Doorenbos & Kassam, 1979; Allen, 1992). O K_c é determinado experimentalmente por meio do balanço hídrico realizado em lisímetros. Quando da impossibilidade de se usar lisímetro, pode-se fazer uso dos valores médios por período de desenvolvimento da cultura, sugeridos por Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassam (1979), apresentados na Tabela 3, ou por meio de medidas do consumo de água nas culturas pelo balanço de água no solo em campo aberto.

TABELA 3. Coeficientes de cultura para algumas fruteiras. Fonte: Doorenbos & Pruitt (1977).

Cultura	Estádio I	Estádio II	Estádio III	Estádio IV	Estádio V
Abacaxi	0,4	0,4 – 0,6	-	0,4 - 0,6	-
Banana	0,4 - 0,5	0,7 - 0,85	1,0 - 1,1	0,9 - 1,0	0,75 - 0,85
Manga	0,4	0,5-0,75	0,80-0,95	-	0,75
Maracujá	0,45	0,75-0,85	-	-	-
Mamão	-	-	-	-	-
Citros sem invasoras	0,4	0,4 – 0,55	0,55 – 0,60	-	0,55
Citros com invasoras	0,4	0,75 - 0,80	0,85 – 0,95	-	0,75

Estádio I - Inicial, da germinação até 10% da cobertura do solo;

Estádio II - Desenvolvimento vegetativo, com até 80% da cobertura do solo;

Estádio III - Intermediário, até o início da maturação;

Estádio IV - Final do ciclo, até o início do ponto de colheita;

Estádio V - Colheita.

2.2. Água disponível

Em termos numéricos, calcula-se a água disponível por unidade de volume de solo empregando-se a seguinte equação:

$$AD = \theta_{cc} - \theta_{pm} \quad (7)$$

onde AD é a água disponível ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), θ_{cc} é o conteúdo de umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) e θ_{pm} é o conteúdo de umidade do solo no ponto de murcha permanente. Vale lembrar que a água disponível deve ser determinada para cada camada ou horizonte do perfil do solo. Tais valores são mostrados nas análises físicas do solo, quando requeridas. A Tabela 4 apresenta valores médios desses parâmetros para diferentes classes texturais de solo.

Várias tentativas têm sido feitas para relacionar parâmetros físico-hídricos do solo, de interesse em manejo de irrigação, cuja obtenção requer equipamentos laboratoriais muitas vezes não disponíveis, com dados de textura e outras propriedades físicas mais acessíveis tais como densidade do solo. A Tabela 5 apresenta alguns modelos para estimativa dos limites superior e inferior da disponibilidade de água do solo, a partir de amostras deformadas (Arruda et al., 1987) e de amostras não-deformadas (Coelho et al., 1998). As diferenças entre os resultados de avaliações isoladas têm levado a um consenso sobre a viabilidade de uso desses modelos; entretanto, os mesmos devem ser calibrados em nível local para maior confiabilidade.

TABELA 4. Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para diferentes classes texturais de solos.

Textura	Capacidade campo (% volume)		Ponto murcha (% volume)		Água disponível (% volume)	
	Média	Faixa	Média	Faixa	Média	Faixa
Areia	12	7-17	4	2-7	8	5-11
Arenoso franco	14	11-19	6	3-10	8	6-12
Franco arenoso	23	18-28	10	6-16	13	11-15
Franco	26	20-30	12	7-16	15	11-18
Franco siltoso	30	22-36	15	9-21	15	11-19
Silte	32	29-35	15	12-18	17	12-20
Franco argilo siltoso	34	30-37	19	17-24	15	12-18
Argilo siltoso	36	29-42	21	14-29	15	11-19
Argiloso	36	32-39	21	19-24	15	10-20

Fonte: Allen (1992)

TABELA 5. Equações de regressão simples sugeridas para representar a relação entre os limites de disponibilidade de água de solo e a densidade do solo e as características granulométricas de diferentes tipos de solo.

Solo	Modelo para amostra deformada (Arruda et al., 1987)	R ²	Modelo para amostra não deformada (Coelho et al., 1998)	R ²
Argiloso	$CC = 3,1 + 0,629SA - 0,0034SA^2$	0,91	$CC = 42,673661 - \frac{363,94011}{S}$	0,60
	$PM = 389,9 \cdot \frac{SA}{1308,1 + SA}$	0,96	$PM = 38,414412 - \frac{363,28375}{S}$	0,43
			$CC = 13,206242 + \frac{3,5344166\rho_g}{\ln\rho_g}$	0,52
Franco-Argilo-Arenoso			$CC = 3,7204785 + \frac{28,539650}{S}$	0,61
Franco Argiloso			$CC = 5,8906604 + \frac{4,4622922\rho_g}{\ln\rho_g}$	0,79
			$PM = 6,921416 + \frac{3,416994\rho_g}{\ln\rho_g}$	0,62

SA – silte + argila; CC – capacidade de campo; PM – ponto de murcha permanente; S - teor de silte (%)
 ρ_g – densidade global do solo (kg·dm⁻³)

A quantidade de água no solo disponível às plantas depende da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. A literatura oferece valores de profundidade do sistema radicular para algumas fruteiras; entretanto, é necessário sempre ponderar tais valores, uma vez que o desenvolvimento do sistema radicular num perfil sem limitação de profundidade ou de presença de lençol freático é dependente principalmente da resistência do solo. Esta depende das propriedades edáficas associadas ao teor de água do solo que, em caso de fruteiras, depende da distribuição de água no solo, conseqüente da irrigação, que pode ser unidimensional (aspersão) ou multidimensional (localizada).

Assim, é necessário ter cuidado com os valores normalmente sugeridos pela literatura, que considera a profundidade total do sistema radicular, sempre superior à profundidade efetiva que contribui na absorção de água para a planta. A Tabela 6 sugere valores da profundidade do sistema radicular para diferentes fruteiras.

TABELA 6. Profundidade total (contendo 100% do sistema radicular) e efetiva (contendo pelo menos 60% do sistema radicular) para algumas fruteiras tropicais.

Cultura	Profundidade das raízes (m)	
	Total (100%)	Efetiva (>60%)
Abacaxi	<0,85	0,3 - 0,6
Abacate	1,8	0,6
Banana	< 1	0,5
Citros	1,2 - 1,5	0,9
Mamão	0,3 - 0,6	-
Manga	>1,8	0,5 - 1,2
Maracujá	0,3 - 0,45	-

Conhecendo-se a profundidade efetiva do sistema radicular, a água disponível no perfil do solo para as plantas passa a ser, portanto:

$$AD = (\theta_{CC} - \theta_{PM}) \cdot Z_R \quad (8)$$

em que Z_R é a profundidade do sistema radicular em mm.

Os valores da profundidade do sistema radicular citados na Tabela 6 referem-se a plantas adultas, negligenciando, portanto, o crescimento do sistema radicular durante os estádios fenológicos característicos da cultura. Esse problema pode ser resolvido com uso de modelos de

crescimento de raízes, que muitas vezes são de difícil acesso ao usuário, pela complexidade ou pelas variáveis de entrada que requerem. Um modelo simples e de fácil utilização (Allen, 1992) usa dois valores predeterminados: a profundidade inicial do sistema radicular, Z_{R0} , e a profundidade máxima do sistema radicular atingida para o diâmetro máximo de copa ou máxima área foliar da cultura, Z_{Rmax} , para estimar a profundidade atual das raízes, $Z_{R(j)}$, em qualquer etapa do ciclo da cultura. A profundidade inicial é a própria profundidade das raízes da muda, determinada pela altura da sacola que a contém. A profundidade máxima efetiva pode ser obtida da Tabela 6, atentando-se para o fato de que a profundidade máxima efetiva não coincide com a profundidade máxima de raízes individuais. O modelo assume crescimento linear das raízes, sendo esse correlacionado à área foliar e ao coeficiente de cultura diário, $K_c(j)$, sendo j o dia transcorrido desde a data de plantio.

Dessa forma pode-se usar um modelo linear com base no coeficiente de cultura atual $K_c(j)$, máximo, K_{cmax} , ou inicial, K_{co} , ou nas datas de plantio, $j_{plantio}$, e de máxima cobertura do solo, j_{cmax} :

$$Z_R(j) = Z_{R0} + \frac{K_c(j) - K_{co}}{K_{cmax} - K_{co}} \cdot (Z_{Rmax} - Z_{R0}) \quad (9)$$

$$Z_R(j) = Z_{R0} + \frac{j - j_{plantio}}{j_{Kcmax} - j_{plantio}} \cdot (Z_{Rmax} - Z_{R0}) \Rightarrow j < j_{Kcmax} \quad (10)$$

$$Z_R(j) = Z_{Rmax} \Rightarrow j > j_{Kcmax} \quad (11)$$

2.2.1. Curva de retenção de água do solo

O conhecimento da curva de retenção é fundamental quando se usa a disponibilidade de água do solo para fins de manejo de irrigação. A curva de retenção muitas vezes é requerida pelo usuário, que não faz o devido uso da mesma.

A curva de retenção de água do solo expressa a relação funcional entre o conteúdo de umidade (em peso ou em volume) e o potencial matricial. Como, para cada tipo de solo, existe um valor característico de umidade para cada valor de potencial, essa relação funcional é também chamada de curva característica de umidade.

A descrição matemática da curva de retenção é de interesse para a caracterização, modelagem e análise de diferentes solos e cenários físico-hídricos. Um modelo muito utilizado foi desenvolvido por Genuchten (1980):

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha \psi_m)^n} \right]^m \quad (12)$$

em que:

θ é o conteúdo de umidade para um certo potencial matricial ψ_m ;

θ_s é o conteúdo de umidade do solo na saturação;

θ_r é o conteúdo de umidade residual do solo; e

α , n e m são parâmetros que dependem do formato da curva de retenção.

Assumindo que $m = 1 - \frac{1}{n}$, nota-se que os únicos parâmetros necessários para a equação 12 são θ_s , θ_r , α e n . θ_s é facilmente determinado com precisão empregando-se valores de densidade do solo e de densidade das partículas do solo, restando apenas θ_r , α e n para serem estimados pelo ajuste do modelo não-linear.

O modelo de Genuchten (1980), pode ser obtido usando-se planilha eletrônica, Quattro Pro ou Excel, seguindo os seguintes passos:

1. Entrar com os dados experimentais de teor de água do solo e de potencial matricial em duas primeiras colunas da planilha;
2. Entrar com a equação de Genuchten (1980) para θ e entrar com ela na terceira coluna da planilha. Essa coluna vai conter os valores estimados de θ para cada valor experimental medido.
3. Estabelecer células para cada parâmetro do modelo de Genuchten, ou seja, θ_s , θ_r , α e n ; criar uma célula para que m seja calculado em função de n ;
4. Atribuir valores iniciais aproximados para esses parâmetros; é essencial que os valores iniciais sejam próximos da solução, caso contrário o modelo não-linear pode convergir em um ponto de mínimo local e não global;
5. Criar uma quarta coluna contendo os desvios entre θ_{medido} e θ_{estimado} ao quadrado, ou seja, $(\theta_{\text{medido}} - \theta_{\text{estimado}})^2$.
6. Definir uma célula com a soma dos quadrados dos desvios entre os valores medidos e estimados de θ , ou seja, $\sum[(\theta_{\text{medido}} - \theta_{\text{estimado}})^2]$;
7. Computar a variância dos valores de θ_{medido} empregando uma função da planilha eletrônica, isto é, $@\text{VAR}(\text{coluna de } \theta_{\text{medido}})$ no Quattro Pro e $\text{BDVAREST}(\text{banco de dados, campo, critério})$ no Excel;

8. Computar o coeficiente de determinação do ajuste da seguinte forma: $R^2 = 1 - (\text{soma dos quadrados dos erros} - \text{passo 6}) / (\text{número de pontos} \times \text{variância dos valores } \theta_{\text{medido}} - \text{passo 7})$;
9. Aplicar o otimizador da planilha (Tools/Optimizer no Quattro Pro e Solver no Excel) para proceder a otimização com as seguintes restrições: $0 \leq m \leq 1$; $\theta_r \geq 0$;

Utilizar os valores ajustados dos parâmetros θ_r , n e m para plotar a equação ajustada aos dados experimentais. Para obter uma curva mais apresentável, é necessário entrar com um número maior de dados de potencial matricial, a partir do valor absoluto medido mais baixo até o mais alto com intervalo de 0,1 e obter os correspondentes valores estimados do conteúdo de umidade.

Uma vez determinada a curva de retenção do solo, pode-se estabelecer a faixa de disponibilidade de água em termos percentuais, permitindo-se saber, para cada teor de água do solo, a percentagem de água disponível existente e a percentagem consumida por extração pelo sistema radicular bem como as possíveis perdas ocorridas (Figura 2).

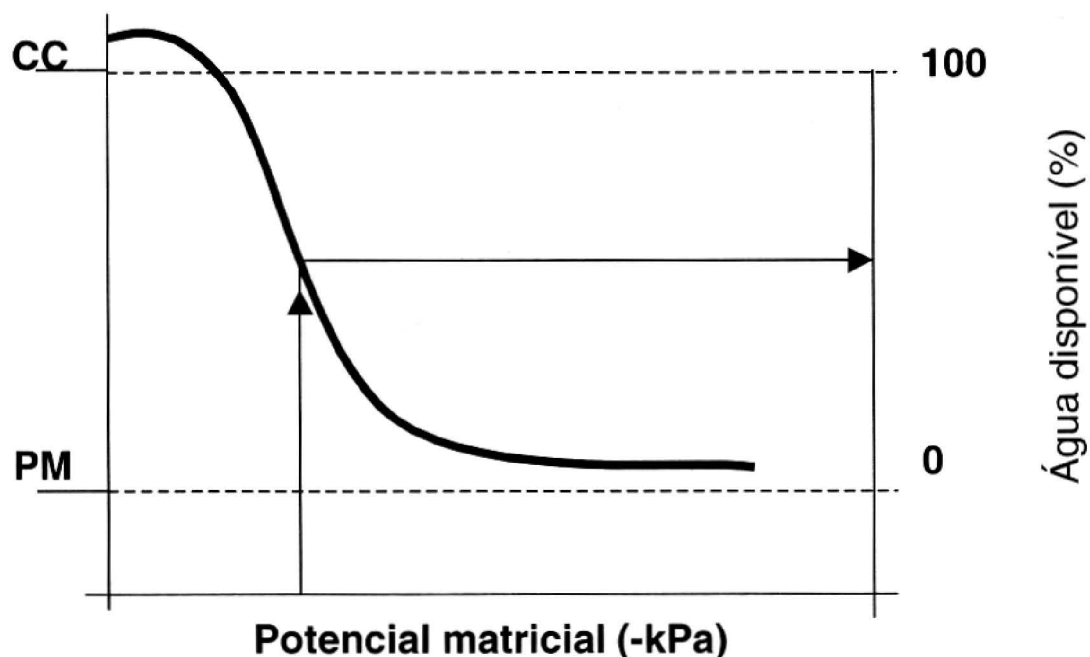


Figura 2. Curva característica de retenção de água do solo.

3. Momento da Irrigação e Quantidade de Água a Aplicar

Os métodos de determinação do momento da irrigação e do quanto de água a aplicar são em geral os seguintes: (i) turno de rega calculado, (ii) medidas do teor ou estado energético da água no solo (ii) medidas nas plantas, (iii) balanço de água na zona radicular e (iv) instrumentos de evaporação.

As tecnologias de manejo de irrigação não têm sido de fácil adoção pelos agricultores e as principais razões disso são: (i) custo da água baixo em relação aos custos necessários à implementação de um programa de manejo de irrigação; (ii) as reduções de produtividades causadas por excesso ou déficit de água no solo ou por fertilização inadequada, não são facilmente reconhecidas nem quantificadas pelos produtores; (iii) falta de disponibilidade de dados para uso nos cálculos do momento e da quantidade de água a aplicar; e (iv) falta de treinamento de irrigantes e técnicos (Jensen, 1983).

3.1. Turno de rega calculado

O turno de rega ou freqüência de irrigação, TR (dias), é dado pela razão entre a lâmina de irrigação real necessária e a ET_c , como se segue:

$$TR = \frac{LRN}{ET_c} \quad (13)$$

onde LRN é a lâmina real necessária ou lâmina líquida (mm) a ser reposta a cada irrigação e é dada pela equação:

$$LRN = AD \cdot f \quad (14)$$

onde f é o fator de água disponível no solo, AD é a água disponível (equação 8) e ET_c é a evapotranspiração média diária do período em mm/dia. Nesse método, portanto, propõe-se uma reposição constante da água do solo, sendo que o intervalo de irrigação varia com a ET_c , cujos valores podem ser determinados a partir de valores da ET_0 dentro de um certo período, sendo comum o período de um mês.

A fração de água disponível do solo, f , corresponde à redução permissível do teor de água do solo abaixo da capacidade de campo que permita uma produtividade desejável da cultura. A fração adotada depende da rentabilidade da cultura, profundidade das raízes, distribuição das raízes e sensibilidade ao estresse. Normalmente a redução permissível da água disponível varia de 25 a 50% (Tabela 7).

TABELA 7. Fração de água disponível no solo para algumas fruteiras tropicais.

Cultura	f (%)
Abacaxi	50
Abacate	50
Banana	35
Citros	50
Goiaba	50
Manga	50
Maracuj	35

3.2. Medidas no solo

Nesse caso, o momento da irrigação é determinado pelo estado atual da água do solo, por meio de sensores de água do solo, quer para determinação de conteúdo de umidade quer para determinação do potencial de água do solo.

3.2.1 *Uso de sensores do estado da água do solo*

O conteúdo de umidade do solo, para definição do momento de irrigar, pode ser obtido por métodos diretos e indiretos. O método gravimétrico, o TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) e a sonda de nêutrons permitem a obtenção direta do teor de água no solo. Por outro lado, os blocos de resistência elétrica e o tensiômetro permitem a obtenção indireta da umidade do solo. No caso do tensiômetro precisa-se da curva de retenção da água do solo. A Tabela 8 sintetiza os sensores do estado da água do solo mais comuns.

Conhecendo-se a umidade atual do solo, θ_a , através de qualquer um dos métodos acima, e comparando-a com a umidade do solo crítica, θ_c , para a cultura, decide-se irrigar quando $\theta_a \leq \theta_c$. Quando se dispõe de θ_a o fator de reposição f torna-se desnecessário e LRN pode ser dado por:

$$\text{LRN} = (\theta_{cc} - \theta_a) \cdot Z_R \quad (15)$$

com LRN e Z_R expressos em mm e θ_a expresso em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.

TABELA 8. Características dos principais sensores do estado da água do solo para manejo de irrigação.

Método	Atributos	Faixa de operação	Vantagens Principais	Limitações principais
Gravimetria	Teor de água (em massa)	Solo seco a saturação	Simple, baixo custo, preciso	Não repetitivo, destrutivo, laborioso, requer densidade do solo para fins de irrigação
Sonda de nêutrons	Teor de água (em volume)	Solo seco a saturação	Rápido, repetitivo, não destrutivo, custo entre 3500 e 5000 dólares	Alto custo, emite radiação, requer calibração, impreciso próximo da superfície do solo
Resistência elétrica	Potencial matricial (h)	$h < -8$ kPa	Baixo custo (50 a 160 dólares), simples repetitivo, não destrutivo, leituras podem ser multiplicadas	Impreciso em solos arenosos e para altos teores de água, sensível à salinidade, requer calibração
Dissipação de calor	Potencial matricial (h)	$h > -200$ kPa	Repetitivo, não destrutivo, leituras podem ser multiplicadas	Alto custo, requer calibração, variabilidade devido ao aparelho
TDR	Teor de água (em volume)	Solo seco – saturação	Repetitivo, não destrutivo, alta precisão, calibração não obrigatória, alta resolução espacial e temporal, leituras podem ser multiplicadas	Custo alto (acima de 8000 dólares), limitações em solos salinos.
Tensiômetros	Potencial matricial (h)	$h > -80$ kPa	Simple, repetitivo, leituras podem ser multiplicadas, custo entre 70 e 150 dólares.	Manutenção acentuada, faixa de trabalho limitada

Um ponto importante a ser observado é com respeito à localização dos sensores ou às posições de leituras no perfil do solo. Como regra geral, deve-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. Ao contrário das culturas de ciclo curto, tais como cereais e hortaliças, que apresentam um sistema radicular de menor porte, as fruteiras apresentam seus sistemas radiculares em um maior volume de solo, sendo que parte desse sistema radicular não atua em absorção de água, mas como sustentação da planta. Como exemplo, pode-se citar que a região de concentração de raízes de absorção para a manga situa-se entre 1,00 m e 1,50 m de distância do tronco, para plantas com idade superior a 3 anos. No caso do coqueiro anão, as raízes de absorção concentram-se a partir de um raio de 0,5 m da planta. As profundidades de instalação dos sensores entre 0,25 e 0,30 m, 0,50 e 0,60 m e 0,80 e 0,90 m são suficientes para monitoramento do estado da água no solo para culturas como abacate, manga e citros. Para culturas de raízes menos profundas, como é o caso da banana, do maracujá e do mamão, pode-se adotar as duas primeiras faixas de profundidade (0,25 e 0,30 m, 0,50 e 0,60 m). Assim, em irrigação localizada, as recomendações de valores individuais ou de faixas de valores de tensão referentes a qualquer cultura deve especificar a que distância horizontal em relação ao emissor ou à planta e a que profundidade, dada a desuniformidade de distribuição de água no volume molhado, consequência da infiltração e redistribuição multidimensional.

3.2.1.1. Tensiômetro

O tensiômetro indica o potencial matricial da água no solo, ψ_m , em função do seu conteúdo de umidade a uma dada profundidade. Portanto, se existe para uma determinada fruteira uma umidade crítica de irrigação θ_c existe também um potencial matricial crítico, ψ_{mc} , correspondente. Conhece-se θ_c a partir de ψ_{mc} com o uso da curva de retenção de água no solo. O ψ_m é expresso em termos de uma altura de coluna de mercúrio (cmHg) ou outra unidade de pressão como atm e kPa (Figura 2). Uma vez conhecido o ψ_{mc} da fruteira em questão, procede-se a irrigação toda vez que a altura H da coluna de mercúrio, no caso do tensiômetro de mercúrio, for igual a um valor previamente calculado H_c . A expressão que fornece o valor de H_c é:

$$H_c = \frac{10,33 \cdot \psi_{mc} + h_1 + h_2}{12,6} \quad (16)$$

onde H_c é expresso em cm, h_1 = altura do nível de mercúrio na cuba em relação à superfície do solo (cm) e h_2 = profundidade de instalação do tensiômetro no solo (cm). Na equação 16, ψ_{mc} deve ser um valor positivo e expresso em kPa. Assim, à medida que H se aproxima de H_c , devido ao secamento do solo, aproxima-se o momento de irrigar. Não se deve permitir que H se distancie muito de H_c para proceder a irrigação. Quando se usa um manômetro metálico (vacuômetro) no tensiômetro, compara-se o valor lido no manômetro com o valor de ψ_m crítico para a cultura e então decide-se irrigar pelo mesmo critério visto para tensiômetro de mercúrio. Os tensiômetros mais comuns empregam manômetro de mercúrio ou manômetros de Bourdon (Figura 3).



Figura 3. Tensiômetro tipo vacuômetro para determinação do potencial matricial da água no solo.

A determinação do momento da irrigação com uso do tensiômetro é feita verificando-se quando o solo atinge determinados potenciais matriciais, além dos quais o estresse a que é submetida a cultura pode comprometer seu desenvolvimento de forma significativa. Existem faixas de potencial matricial definidas como mais adequadas ao desenvolvimento e produção das culturas. A Figura 4 ilustra a faixa de potenciais de interesse para a planta que resulta em condições de teores de água e de ar adequados às raízes.

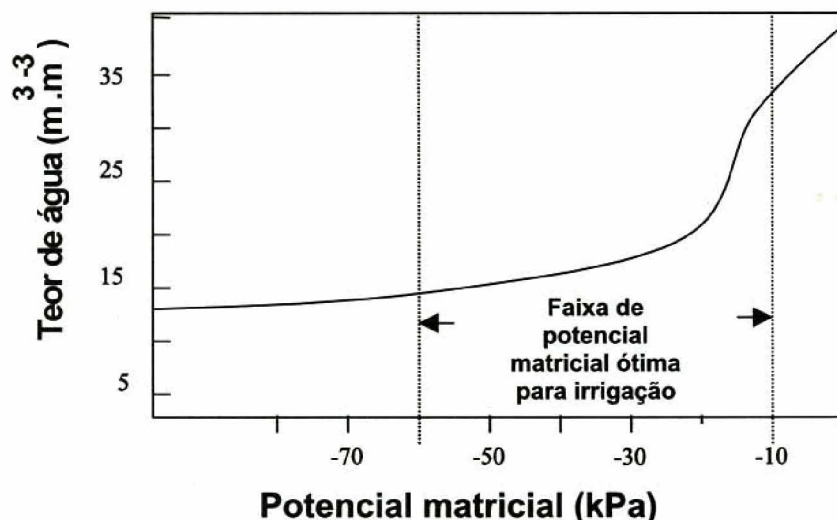


Figura 4. Faixa de potencial matricial adequada ao manejo da irrigação (Phene, 1986).

Na Figura 4 são apresentados os limites de potenciais da água no solo dentro dos quais as raízes apresentam ótimas condições de absorção de água. Além do limite superior, a taxa de difusão de oxigênio do solo atinge valores inferiores aos tolerados pelas raízes; abaixo do limite inferior, o teor de água do solo condiciona ao mesmo uma resistência superior à força de penetração das raízes, limitando o desenvolvimento e atividade das mesmas nesses teores de água.

A Tabela 9 apresenta recomendações de tensão (potencial) de água no solo onde as respectivas fruteiras apresentam desenvolvimento e produtividade satisfatórias.

TABELA 9. Faixas de tensão de água do solo adequadas ao desenvolvimento e produtividade de algumas fruteiras tropicais.

Cultura	Variação de tensão permitida (kPa)			Doorenbos & Pruitt (1977)
	Geral	Tipo de solo Arenoso	Argiloso	
Abacate	< 55	-	-	-
Banana	-	-	25-45	30-150
Citros	-	10-20	30-45	50-100
Goiaba	-	10-20	30-45	-
Manga	-	15-25	30-60	-
Maracuj	-	6	< 20	-

O número de posições de instalação de tensiômetros depende da variabilidade espacial do solo, sendo necessário pelo menos uma bateria para cada mancha de solo da área. Stegman (1983) recomendou 2 a 4 baterias para cada 65 ha; cada bateria de tensiômetros deve ser composta de dois instrumentos, a diferentes profundidades, conforme

a profundidade do sistema radicular. Stegman (1983) recomendou que o mais profundo seja instalado a uma profundidade duas vezes à do mais superficial sendo o que determina o final da irrigação; entretanto, esse procedimento pode implicar em excesso de água de irrigação.

A lâmina real necessária LRN, para suprir o déficit de água do solo pode ser calculada usando a própria leitura do tensiômetro, conforme o seguinte exemplo:

Profundidade efetiva do sistema radicular = 30 cm

Profundidade do tensiômetro = 50 cm

Altura da superfície do solo ao nível do mercúrio na cuba = 20 cm

Leitura do tensiômetro - H = 34 cm

Parâmetros da equação 12:

$\alpha = 1,723556$

$n = 1,442971$

Teor de água do solo à saturação - $\theta_s = 0,195 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$;

Teor de água residual do solo - $\theta_r = 0,045 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$;

a) Converter a leitura para potencial de água do solo (equação 16);

$$\psi_m = \frac{-12,6 \cdot 34 + 20 + 50}{10,33} = -35 \text{ kPa} = -3,5 \text{ m}$$

b) Obter o correspondente teor de água do solo (equação 12);

$$\theta = \left[\frac{1}{1 + (1,723536 \cdot 3,5)^{1,442971}} \right]^{1,442971} (0,195 - 0,045) + 0,045 = 0,111 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$$

c) Usar a curva de retenção para avaliar quanto de água a repor ao solo.

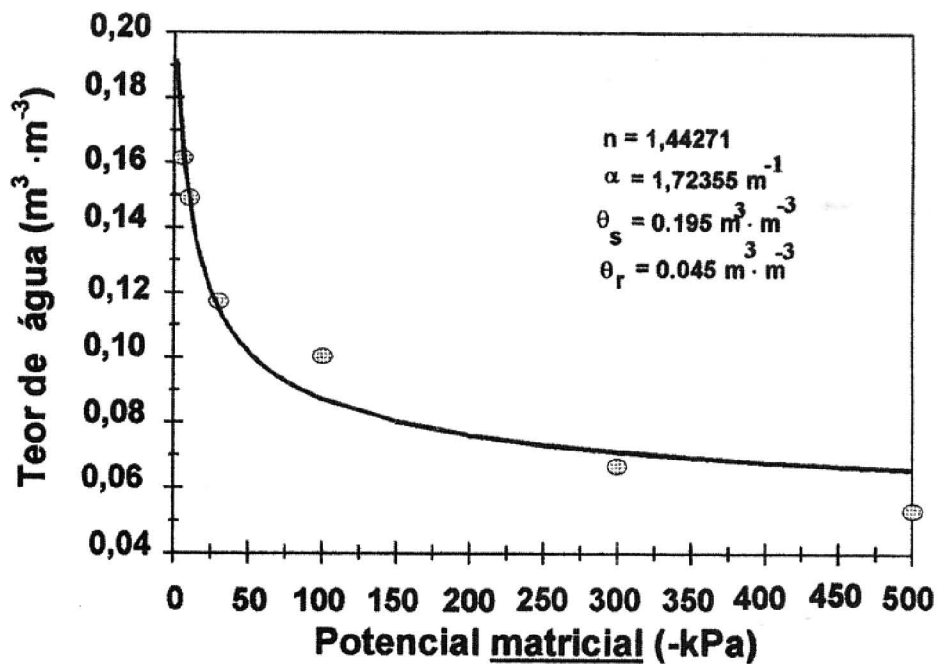


Figura 5. Curva de retenção de água do solo para determinação da lâmina real necessária.

Pela curva de retenção, $\theta_{cc} = 0,165 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ou $0,165 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ e a lâmina real necessária será dada por:

$$\text{LRN} = (0,165 - 0,111) \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \cdot 30\text{cm} \cdot 10 \frac{\text{mm}}{\text{cm}} = 16,2 \text{ mm}$$

3.3. Base em medidas na planta

Várias medidas são usadas para caracterizar o estado da água na planta, tais como condutância difusiva da folha, potencial de água na planta e temperatura da planta. Dessas, o potencial de água na planta tem sido o de uso mais comum, determinado pela bomba de Scholander ou psicrômetro de folha. Potenciais de água na planta, usados como índices para irrigação, têm sido sugeridos para algumas fruteiras (Tabela 10). A temperatura da planta é obtida principalmente com uso do termômetro infravermelho que avalia a temperatura do dossel vegetativo. A temperatura, juntamente com o déficit de pressão de vapor do ar, pode ser usada para determinação do momento da irrigação. Outra medida da planta possível de ser usada para determinação do estado de água na planta é o diâmetro do tronco, cuja variação está correlacionada à variação do potencial de água na folha. As medidas com base no estado de água na planta não têm sido usadas a nível de produtor, pelo custo dos aparelhos envolvidos e pela variabilidade temporal e espacial a que estão sujeitas.

TABELA 10. Potencial de água na folha para algumas fruteiras sob condições razoáveis de água no solo e sob condições de déficit hídrico para as plantas.

Tipo de cultura	Potencial de água da planta sem deficiência de água (kPa)	Potencial de água da planta com deficiência de água (kPa)	Fonte
Abacaxi	-	-	
Abacate	<400	1000	Whiley e Schaffer(1994)
Banana	50 - 1200	350	Turner (1994)
Citros	-	6600	Syvertsen e Lloyd (1994)
Manga	<1200	3200	Schaffer et al.(1994)
Maracujá	-	2480	Menzel e Simpson (1994)

3.4. Balanço de água na zona radicular

Esse método baseia-se na contabilização diária da variação do armazenamento de água no solo (ΔA) até uma profundidade z , através do controle sobre a entrada e a saída de água. Os principais componentes de entrada no sistema são a precipitação efetiva, a irrigação e a ascensão capilar. A ascensão capilar ocorre quando o lençol freático está próximo do volume de solo sob controle. Os componentes de saída do balanço são a evapotranspiração, a percolação profunda e o escoamento superficial.

Para fins de manejo da irrigação de um pomar de fruteiras, o balanço hídrico no solo pode ser escrito como se segue adaptado de Martin et al. (1990):

$$D_{(i)} = D_{(i-1)} + ET_c + D_r - I - P_e \quad (17)$$

onde $D_{(i)}$ = déficit atual de água no perfil do solo na profundidade z até o dia (i) (mm), $D_{(i-1)}$ = déficit de água no perfil do solo até o dia anterior $(i-1)$, ET_c = evapotranspiração da cultura (mm) (equação 6), D_r = drenagem (mm) além da profundidade z , I = lâmina líquida de irrigação e P_e = precipitação efetiva (mm). Precipitação efetiva é a fração da precipitação total P que contribui para atender as necessidades hídricas das plantas.

O objetivo do balanço é acompanhar diariamente a variação do conteúdo de umidade do solo, partindo por exemplo do solo na

capacidade de campo. Portanto, $D_{(i)}$ é a lâmina acumulada até o dia (i) , pois soma-se à lâmina acumulada até o dia anterior o que se extraiu (ET_c e D_r) e o que se acrescentou ao perfil do solo (I e P_e). Como o balanço é diário, todos os componentes da equação devem também ser diários, ou seja, o fruticultor deve ter à mão os valores diários de ET_c , D_r , I , e P_e .

Assim, com base na equação 17, decide-se irrigar de acordo com as seguintes condições:

- (1) Se $D_{(i)} \geq LRN$ irrigar
- (2) Se $D_{(i)} < LRN$ não irrigar

onde LRN é dado pela equação 14 e representa o déficit total permissível na zona radicular. Se a irrigação não ocorre no momento certo, $D_{(i)}$ vai se tornando maior que LRN e as plantas passarão a sofrer deficiência hídrica com todas as conseqüências ao crescimento, desenvolvimento e produção de frutos.

Na equação 17, I representa genericamente qualquer lâmina de irrigação que poderá ser aplicada antes que $D_{(i)}$ se torne igual ou maior que LRN (condição 1). Neste caso $I = D_{(i)}$ acumulado até àquele dia. A lâmina genérica I e a lâmina limite LRN visam trazer a umidade do solo à capacidade de campo. Na equação 17, ET_c e D_r têm sinais positivos pois estes componentes do balanço hídrico contribuem para o déficit de água no solo. Os componentes I e P_e acrescentam água e portanto são negativos, pois reduzem o déficit.

A drenagem profunda ocorre e na maioria das vezes não se tem controle sobre esse componente. Para fins práticos, no entanto, considera-se desprezível a drenagem da água após uma irrigação, pois entende-se que a lâmina de irrigação é suficiente unicamente para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Após uma chuva P , num dia (i) qualquer, usa-se o seguinte critério:

- (3) Se $P > D_{(i)}$ então $P_e = D_{(i)}$ e $D_r = P - D_{(i)}$
- (4) Se $P \leq D_{(i)}$ então $P_e = P$ e $D_r = 0$

Na equação 17 do balanço hídrico não aparecem a contribuição da ascensão capilar e do escoamento superficial. Esses dois componentes podem ser desprezados na prática. A importância do escoamento superficial aumenta com a intensidade da chuva, tipo de solo, grau de cobertura do solo e declividade da área. Para áreas relativamente planas e chuvas de média a baixa intensidade o escoamento superficial pode ser considerado desprezível.

O método do balanço hídrico pode ser empregado independentemente do método de irrigação usado para irrigar a área. No caso da microirrigação, Keller & Bliesner (1990) sugeriram um fator de correção envolvendo os componentes ET_c e P_e da equação 17, da seguinte forma:

$$U = 0,1 \cdot \sqrt{PS} \cdot (ET_c - P_e) \quad (18)$$

onde PS = percentagem de área sombreada, tomada como sendo a razão entre a projeção da copa da árvore no chão ao meio-dia e a área ocupada pela planta.

3.5. Base em instrumentos de evaporação

3.5.1. Método do tanque Classe A

O tanque Classe A pode ser usado diretamente em manejo de irrigação, com uso da evaporação do tanque e um fator, k , que converte diretamente a leitura do tanque em evapotranspiração da cultura. Tal fator é, entretanto, dependente das condições meteorológicas, devendo ser determinado a nível local. A ET_c será obtida pela equação:

$$ET_c = ECA \cdot k \quad (19)$$

onde ECA = lâmina d'água evaporada do tanque ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$)

Várias pesquisas têm sido feitas no sentido de determinar o fator k (Tabela 11) para diversas fruteiras, entretanto, os resultados não têm tido uma coerência, pela variação que apresentam ou pelos próprios valores absolutos, em certos casos considerados excessivos.

TABELA 11. Valores do fator de ajuste da evaporação k do tanque Classe A para evapotranspiração da cultura para algumas fruteiras.

Cultura	k
Banana	0,55 - 1,0
Citros	0,6 - 0,7
Manga	0,75

Exemplo: Determinar a lâmina de água a ser aplicada na cultura da laranja, para as seguintes condições:

Dados:

Turno de rega = 3 dias,

ECA acumulada de três dias = 21 mm

Precipitação acumulada de três dias = 0 mm

Portanto:

$ET_c = 21 \text{ mm} \cdot 0,7 = 14,7 \text{ mm}$

Lâmina a aplicar = $ET_c - P = 14,7 - 0 = 14,7 \text{ mm}$

4. Lâmina Total Necessária

Nos métodos de manejo acima considerados, a LRN não inclui as perdas inevitáveis de água inerentes a todo sistema de irrigação. Determina-se então a lâmina total necessária, como se segue:

$$LTN = \frac{LRN}{Ea} \quad (20)$$

onde LTN = lâmina total necessária ou lâmina bruta de irrigação a ser aplicada (mm) e Ea eficiência de aplicação (decimal) do sistema de irrigação usado para irrigar a área.

Na equação 20, LTN também deve incluir uma fração extra de água para controle da salinidade. A importância da lixiviação dos sais aumenta das regiões úmidas para as regiões semi-áridas e áridas, onde a evaporação é maior que a precipitação. A necessidade de lixiviação é maior quando se usa o método de irrigação localizada em relação aos métodos por superfície e por aspersão. Isto se deve basicamente a duas razões, ou seja, maior eficiência de aplicação d'água para os sistemas de irrigação localizada (percolação profunda é menor) e maior tendência de os sais se concentrarem na zona radicular quando se irriga por métodos localizados. Em caso de microirrigação (gotejamento e microaspersão) pode-se substituir Ea pela uniformidade de emissão de água UE na equação 20.

Em microirrigação, a necessidade de lixiviação NL pode ser dada por (Keller & Bliesner, 1990):

$$NL = \frac{CE_i}{2 \cdot (\max CE_e)} \quad (21)$$

onde NL (decimal), CE_i = condutividade elétrica da água de irrigação

($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) e maxCE_e = condutividade elétrica máxima ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) do extrato de saturação do solo que reduziria a zero a produtividade da cultura. Assim, dependendo do valor de NL deve-se acrescentar ao denominador da equação 21 a diferença (1 - NL) que adiciona lâmina d'água extra para controle da salinidade, isto é:

$$\text{LTN} = \frac{\text{LRN}}{\text{Ea} \cdot (1 - \text{NL})} \quad (22)$$

Portanto, se $\text{NL} \leq 0,10$ então LTN não é corrigido, mas se $\text{NL} > 0,10$ então LTN é corrigido. Na equação 21, CE_i pode ser obtido em laboratório ou no campo usando-se um condutivímetro.

5. Manejo da Irrigação em Fruteiras

5.1. Abacaxi

5.1.1 Métodos de irrigação

Os métodos de irrigação por superfície, tais como sulcos convencionais ou sulcos curtos, bem como o método da aspersão e da irrigação localizada podem ser usados para a cultura do abacaxi.

O gotejamento é mais propício em solos de textura média a argilosos, onde o sistema pode ser dimensionado com duas a quatro fileiras de plantas por linha lateral de gotejamento.

A microaspersão pode ser também usada para irrigação do abacaxi, sendo necessário a elevação das hastes suportes dos microaspersores, a fim de possibilitar atingir uma área maior aspergindo a água sobre a planta e, também, a necessidade de filtragem da água como no gotejamento. Este sistema de irrigação vem sendo utilizado quando o abacaxizeiro é plantado como cultura secundária, próximo às plantas de mangueira, acerola, coco etc. Os miniaspersores que funcionam com pressões entre 200 e 350 kPa e vazões entre 350 e 900 L/h podem se adaptar melhor à cultura, pelas sua características de sistema fixo de baixa pressão e hastes mais altas.

A irrigação por aspersão adapta-se bem ao abacaxizeiro devido ao formato e à distribuição de suas folhas, o que possibilita uma melhor captação de água, aumentando a absorção pelas plantas por meio das raízes adventícias superiores.

Os sistemas de irrigação por aspersão mais encontrados no campo têm sido a aspersão convencional e o pivô central. O sistema "rolão"

(rolomatic) é bastante promissor em regiões de cultura predominante do abacaxi, por ser um sistema convencional e de auto-locomção, associando portanto características de custo inicial mais baixo do sistema com as vantagens de redução da interferência da mão-de-obra.

5.1.2. Necessidades hídricas

O abacaxi pode produzir sob um regime pluviométrico variando de 600 a 3500 mm/ano; portanto, em áreas com pluviosidade anual inferior a 500 mm o abacaxi só deve ser cultivado com irrigação. Mesmo em áreas com pluviosidade total anual acima deste limite, a irrigação é necessária, se ocorrer um período de três meses consecutivos com chuvas inferiores a 15 mm/mês ou de quatro meses com menos de 25 mm/mês ou ainda, cinco meses com chuvas inferiores a 40 mm/mês. Um cultivo comercial de abacaxi exige em geral uma quantidade de água equivalente a uma precipitação mensal de 60 a 100 mm (Py et al., 1984).

A partir do terceiro mês as necessidades hídricas da planta crescem com o desenvolvimento foliar. Este crescimento acelera-se a partir do sexto mês após o plantio, atingindo um máximo por ocasião da época de diferenciação floral. Durante o desenvolvimento da inflorescência e do fruto, a demanda hídrica permanece neste patamar, mas a planta e, sobretudo, a qualidade organoléptica do fruto são bastante sensíveis a um excesso ou déficit de água nesta fase, com um pico de sensibilidade a cerca de um mês da colheita (IRFA, 1984). Os períodos de diferenciação floral e de "enchimento" do fruto são os mais críticos ou mais sensíveis à deficiência hídrica do solo (Medcalf, 1982).

A evapotranspiração do abacaxi na falta de dados locais, pode, a princípio, ser tomada entre 1,3 mm/dia para dias nublados a 4,5 mm/dia em dias claros e quentes, podendo-se tomar como média em condições de irrigação 3 mm/dia.

5.1.3. Momento da irrigação

A relação estreita observada entre a umidade do solo e o alongamento 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). Outro modo de se avaliar a necessidade de água do abacaxizeiro é pelo exame visual do tecido aquífero (Medcalf, 1982), após o corte transversal da folha 'D' a 1/3 da altura da sua base. A maior ou menor espessura do tecido aquífero (faixa aquosa translúcida) indicará a necessidade de

irrigação. Medcalf (1982) recomendou uma relação de 1:2 entre a espessura deste 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.

Há recomendações de que a irrigação em solo arenoso deve ser efetuada quando a tensão de água do solo atingir a 15 kPa.

5.2. Abacate

5.2.1 Métodos de irrigação

Os métodos de irrigação por superfície do tipo sulcos, o de aspersão, especificamente aspersão subcopa, e o método de irrigação localizada podem ser usados para o abacateiro. O gotejamento usando emissores ao redor da planta em anel ou "rabo de porco" além de manter níveis adequados de água ao solo, evita desenvolvimento de fungos conseqüentes do umedecimento do solo junto à planta.

5.2.2. Necessidades hídricas

A cultura do abacate pode produzir de 11 a 27,5 t/ha, considerando um espaçamento de 6 m x 6 m, a partir de um consumo anual de 600 a 1000 mm de água, respectivamente. Com base em valores obtidos para verão e início de outono em Israel que poderiam ser extrapolados para as condições tropicais, a evapotranspiração pode variar de 3 a 3,5 mm/dia. O abacate possui características como a cerosidade que envolve as folhas, flores e frutos, que evitam a perda de água; apesar disso, a cultura é bastante sensível a estresse de água no solo, bem como teores de água acima da capacidade de campo, capazes de reduzir a aeração do solo.

5.2.3. Manejo da irrigação

Em Israel tem-se obtido produtividades razoáveis para intervalos de irrigação de 7 a 14 dias podendo-se estender o intervalo para 21 dias. Um adequado regime hídrico não requer necessariamente a manutenção dos teores de água à capacidade de campo. Para um desenvolvimento adequado da cultura sob irrigação não se deve permitir tensões de água no solo acima de 55 kPa (Whiley & Schaffer, 1994). Deve-se levar em conta que menores intervalos de irrigação significam maior constância de altos teores de água no solo, o que implica maior transpiração e maior produtividade, entretanto esses aumentos em

produtividade reduz a reserva de carboidratos que a planta utiliza no ciclo seguinte e, conseqüentemente, a expectativa de produtividade no ciclo seguinte.

5.3. Banana

5.3.1. Métodos de irrigação

É comum o uso do método de superfície para essa cultura, principalmente o método das bacias em nível e sulcos. A aspersão sobcoba, a miniaspersão e, principalmente, a microaspersão tem sido muito usados para essa cultura.

O uso do método de irrigação por superfície, de bacias em nível, exige terrenos nivelados ou sistematizados; a vazão necessária nesse sistema é de 70 L/s.ha, a eficiência normalmente próxima de 90%, com sulcos de base larga entre fileiras simples. O tempo de aplicação de água, t_a , em horas, na bacia, pode ser calculado pela equação:

$$t_a = \frac{S_c \cdot LTN}{1000 \cdot Q_d} \quad (23)$$

em que S_c é a área da cultura (m^2), LTN é a lâmina total necessária (mm) e Q_d é a vazão disponível ($m^3 \cdot h^{-1}$).

O consumo de água pelo uso do método da irrigação por superfície, principalmente no caso de sulcos, resulta num dispêndio de água anual entre 2000 e 3000 mm. O método de aspersão também resulta em alto consumo de água, podendo estar entre 1500 e 2000 mm por ciclo. A irrigação localizada resulta numa considerável economia de água, passando a se gastar entre 600 e 750 mm com a cultura por ciclo. No manejo da irrigação da cultura da banana deve-se ater para o fato de que o espaçamento inicial estabelecido sofre alterações entre um ciclo e outro da cultura. Isso deve ser levado em conta principalmente na instalação de sistemas fixos tais como microaspersão e gotejamento.

No caso de irrigação por microaspersão (Figura 6), tem-se adotado o uso de um micraospersor para quatro plantas; no caso do gotejamento, tem-se recomendado uma linha linha de gotejamento, com dois gotejadores por planta, sendo os mesmos posicionados a 0,50 m da planta.

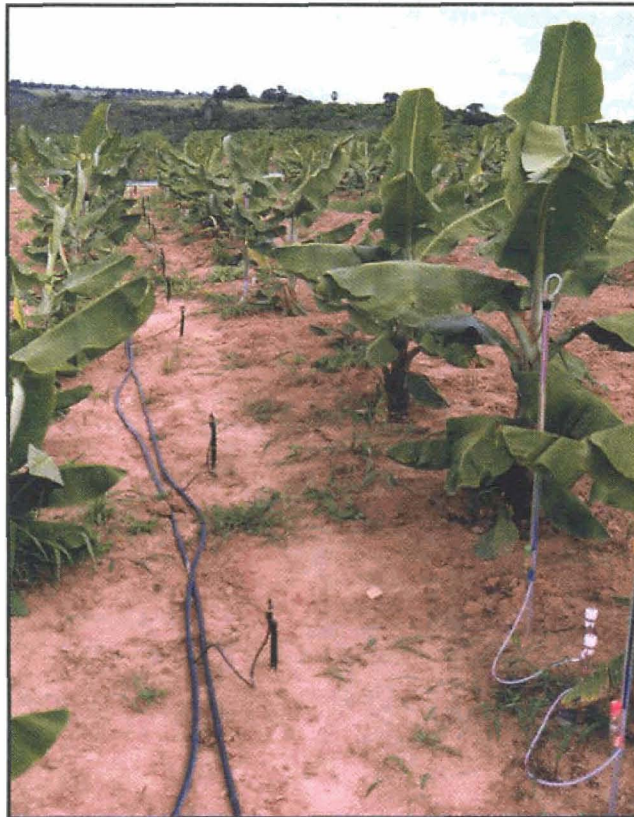


Figura 6. Microaspersão em bananeira.

5.3.2. Necessidades hídricas

A cultura da bananeira requer índices pluviométricos anuais de pelo menos 1200 mm, sendo que o déficit hídrico de quatro a seis meses afeta a produção. A evapotranspiração da cultura situa-se entre 6 a 7 mm/dia para baixas tensões de água no solo, e de 2 a 3 mm/dia para tensões de água no solo acima de 30 kPa. O consumo de água pela planta será portanto função do estado da água no solo e das características meteorológicas locais.

A banana requer teores de água do solo em níveis próximos da capacidade de campo, porém sem exceder esse parâmetro de modo a comprometer a aeração do solo. Em condições potenciais de encharcamento do solo, o excesso de água superficial deve ser drenado em no máximo duas horas, e o lençol freático deve atingir 1 m de profundidade em 24 h (Turner, 1994).

5.3.3. Manejo da irrigação

O método do turno de rega calculado usa o fator de manejo da disponibilidade de água f entre 10% e 40%, sendo que para evapotranspiração máxima de 5 a 6 mm/dia, o valor de f mais adequado deve ser inferior a 35%.

Os níveis de potencial matricial do solo recomendados situam-se entre -25 kPa a -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.

O uso do tanque classe A como indicador de consumo de água pela planta tem fornecido diferentes fatores de determinação da evapotranspiração da cultura da banana, sendo que esses fatores têm variado de 0,55 a 1,0. Dada essa diversidade de valores, recomenda-se usar inicialmente um valor entre 0,6 e 0,75 para determinação da evapotranspiração da cultura.

O intervalo de irrigação, no caso de sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) pode variar de um dia para solos de textura média a arenosa a três dias para solos de textura média a argilosa.

5.4. Citros

5.4.1. Métodos de irrigação

A irrigação é um componente do processo produtivo recente nos pomares de citros no Brasil. Os métodos de irrigação por superfície (sulcos) e aspersão sobcoba têm sido usados; porém, mais comum em uso pelos produtores que têm adotado essa tecnologia é a microaspersão, onde os microaspersores podem ser dispostos próximos às plantas ou entre as plantas na fileira da cultura. A microaspersão (Figura 7) aparentemente assegura maior área molhada ao solo, principalmente em terrenos arenosos, mas o gotejamento, dependendo do número de emissores, pode promover área molhada semelhante ou superior a da microaspersão.

No caso de uso de gotejamento, deve-se procurar instalar dois gotejadores por planta após o plantio; com o desenvolvimento da planta deve-se instalar pelo menos quatro gotejadores por planta na disposição circular, em anel ou "rabo de porco", sendo que, em solos de textura média a arenosa, deve-se instalar de 5 a 6 gotejadores por planta. Análise econômica de sistemas de irrigação em citros no estado de São Paulo mostrou que o sistema de gotejamento tem sido mais econômico que o sistema de microaspersão (Agriannual, 1988).



Figura 7. Microaspersão em laranja.

5.4.2. Necessidades hídricas

A evapotranspiração varia de 900 a 1200 mm/ano nos EUA, 600 a 900 mm/ano na Espanha, 560 a 1100 mm em Israel. O consumo de água por citros em São Paulo fica próximo de 3 mm/dia em pomares irrigados e 1,5 mm/dia nos não irrigados; em Israel atinge uma média de 4,5 mm/dia no verão. Uma produção considerada dentro de padrões ótimos (próximo de 50 t/ha de frutos), pode ser obtida com irrigação de 26,0 m³ de água/árvore/ano, equivalentes a 6.750 m³/ha.ano.

A evapotranspiração da cultura da laranja tem apresentado valores de 3,2 a 4,7 mm/dia, durante todo o período de verão, em regiões de clima temperado.

Estudos de estresse da laranja "Valência" por meio de interrupções nas irrigações mostraram que, em condições de baixa evapotranspiração, as plantas não foram afetadas por uma interrupção de até 60 dias na irrigação; entretanto, em condições de altas taxas de evapotranspiração, 30 dias foram suficientes para afetar significativamente as plantas (Dirksen et al., 1979).

O excesso de água no solo, ou encharcamento do mesmo causa redução na taxa de crescimento da laranja após quatro dias do início do encharcamento, no caso do limão, a taxa de crescimento se reduz após oito dias do início do encharcamento (Syvertsen & Lloyd, 1994).

5.4.3. Manejo da irrigação

Culturas de citros têm demonstrado, com base em experimentos, que as plantas não necessitam que o volume de solo contendo o sistema radicular esteja continuamente próximo do limite superior de disponibilidade de água no solo. Alguns trabalhos têm mostrado que a manutenção contínua de altos teores de água no volume do sistema radicular favorece o crescimento vegetativo, que não é desejável, além de contribuir na redução dos sólidos solúveis totais (Hilgermann & Sharp, 1970). Há trabalhos que mostram que as produtividades da laranja sob irrigação duas vezes por semana não diferiram daquelas sob irrigação a cada 12 dias. Em Israel tem-se obtido produtividades próximas de 50 t/ha com intervalos de irrigação entre 12 e 24 dias.

O momento da irrigação, caso não seja fixado, o que é comum para sistemas de irrigação fixos, pode ser determinado com uso de medidores do potencial de água no solo ou por meio de medidas diretas do teor de água no solo. O fator de redução da água disponível sugerido pela literatura é de 0,5, o que indica maior intervalo entre irrigações. Os potenciais matriciais de -30 a -45 kPa têm sido tomados como faixa limite para manutenção de teores adequados de água para a cultura, além dos quais deve-se irrigar.

O quanto de água aplicar pode ser calculado com base na disponibilidade de água no solo, na curva de retenção ou na evapotranspiração da cultura. Há valores obtidos de resultados de pesquisa onde se verificou uma variação dos valores de K_c de acordo com o desenvolvimento da cultura ao longo dos anos e dentro de um mesmo ano. A variação em um ano deveu-se ao crescimento da cultura a partir da poda feita no início do ano. Os valores de K_c variaram a partir de 0,3 a 0,6, superando 0,6 podendo atingir 0,8 nos meses de maior demanda de água pela cultura (Castel, 1996).

5.5. Goiaba

5.5.1. Métodos de irrigação

Não há uma tradição no Brasil de se irrigar a goiaba; entretanto, a expansão do cultivo da mesma para regiões semi-áridas incluiu, indispensavelmente, a irrigação no sistema de produção da mesma. Os métodos de irrigação por superfície (sulco), por aspersão sobcopa e localizada (microaspersão e gotejamento) podem ser usados para essa cultura.

5.5.2. Necessidades hídricas

A goiaba pode suportar longos períodos de deficiência hídrica. É uma cultura que se desenvolve bem em locais de precipitação entre 1000 e 2000 mm. É uma cultura de moderada resistência a encharcamento do solo.

5.5.3. Manejo da irrigação

A definição de quando irrigar pode ser baseada na cultura do limão, uma vez que não há indicações de resultados de pesquisa para a goiaba. O momento da irrigação, caso não seja fixado, o que é comum para sistemas de irrigação fixos, pode ser determinado com uso de medidores do potencial de água no solo ou por meio de medidas diretas do teor de água no solo. O fator de redução da água disponível a ser usado pode ser o mesmo sugerido pela literatura para citros ou seja de 0,5, o que indica maior intervalo entre irrigações. Os potenciais matriciais de -30 a -45 kPa, que tem sido tomados como faixa limite para manutenção de teores adequados de água para a cultura de citros, podem ser adotados, a princípio para a goiaba.

5.6. Mamão

5.6.1. Métodos de irrigação

Os métodos de irrigação utilizados nessa cultura têm sido os mais variados, desde a irrigação por superfície até a irrigação localizada. Os métodos de irrigação por superfície não tem sido comuns, devendo-se evitar qualquer encharcamento temporário na região próxima da zona radicular. Seu uso deve estar relacionado a solos de textura média a argilosa em terrenos sistematizados.

Os métodos pressurizados são os mais usados. Dentre eles, a aspersão convencional sob copa, pivô central e auto-propelido têm sido comuns. O método de aspersão, principalmente considerando sistemas de alta pressão, contribui para o aumento de queda de flores causado pelo impacto do jato com as plantas (Luna, 1982) e propicia condições microclimáticas favoráveis ao aparecimento de doenças e pragas (Castro, 1980).

A microaspersão tem sido o sistema mais utilizado para essa cultura, vindo a substituir a aspersão convencional em diversas propriedades agrícolas. O sistema funciona com baixa pressão (100 a 300 kPa) e vazão por microaspersor entre 20 e 70 L/h. Tem-se adotado um microaspersor para duas ou quatro plantas.

O gotejamento (Figura 8), que funciona na faixa de pressão de 50 a 250 kPa com vazões mais comuns entre 1 e 8 L/h também vem sendo usado para a cultura do mamoeiro e propicia à cultura melhores condições de desenvolvimento e produção que os sistemas de irrigação por sulco e aspersão (Rungsimanop et al., 1988), mas não há indícios de diferença significativa entre esse sistema e a microaspersão (Papa, 1984). Recomenda-se, nesse caso, o uso de dois gotejadores de vazão próxima ou igual a 4 L/h para cada planta, instalados a 0,50 m do pé da planta ou menos dependendo da textura do solo. No caso de as linhas laterais de irrigação enterradas, recomenda-se o uso de gotejadores de vazão igual ou próximo de 2 L/h, sendo os mesmos enterrados a 0,30 m de profundidade, onde se espera encontrar maior concentração do sistema radicular. Para sistemas de gotejamento enterrado recomenda-se o plantio no período chuvoso, visando-se, no período de déficit hídrico, um sistema radicular suficiente para usar a água disponível no volume molhado criado pelo gotejador.



Figura 8. Gotejamento em mamão.

O mamoeiro é uma cultura mais adaptada a regiões de clima úmido, apesar de produzir em regiões de baixa umidade relativa; ambientes com umidade relativa acima de 60% são considerados mais adequados ao desenvolvimento da cultura (Marler et al., 1994). Nas regiões secas o uso do pivô central, onde o jato de água é mais pulverizado, pode criar um microclima transiente de maior umidade

relativa na área cultivada, favorecendo o desempenho da cultura sob irrigação por aspersão quando comparado a sistemas de irrigação localizada.

5.6.2. Necessidades hídricas

O consumo anual de água pela cultura oscila entre 1200 a 3125 mm, sendo que precipitações de 1000 a 3000 mm são suficientes para o bom desenvolvimento da cultura (Araújo, 1988). Trabalhos conduzidos no norte de Minas Gerais mostraram que, mudas plantadas no início do período seco do ano e irrigadas com 15 a 20 litros/planta.dia, durante o período seco, e com 10 litros/planta.dia no período chuvoso, produziram 142 t/ano de mamão (Sousa Lima & Meirelles, 1986).

A cultura apresenta significativa sensibilidade a deficiência de aeração no solo. Uma condição de saturação do solo de dois dias é suficiente para causar a morte das plantas (Marler et al., 1994). No caso do uso do método de aspersão, recomenda-se a utilização de irrigações com baixa frequência nos estádios iniciais de desenvolvimento e, posteriormente, irrigação semanal com a finalidade de se evitar estagnação da água no sistema radicular, como também incidência da podridão do pé (Madhava Rao & Shammugavelu, 1971). No caso da microirrigação, deve-se evitar que o emissor fique muito próximo à planta. A irrigação nesse método deve ser tal que não promova condições de baixa aeração no volume molhado.

Por outro lado, estresses hídricos causam atraso no desenvolvimento da cultura e estímulo à produção de flores masculinas ou estéreis (Manica, 1982). Os sintomas típicos sob estresse hídrico, por falta ou excesso de água, reflete no amarelecimento e queda das folhas mais velhas.

5.7. Manga

5.7.1. Métodos de irrigação

Os métodos de irrigação por superfície (sulcos), bem como a aspersão sobcoba, podem ser usados para a manga; entretanto, o sistema mais comum de irrigação da mangueira tem sido o da microaspersão (Figura 9), por se acreditar que o volume molhado decorrente desse sistema seja maior que o originado do sistema de gotejamento, além do fato de, no sistema de gotejamento, se exigir

um número maior de gotejadores, o que, em certos casos, requer até duas linhas de gotejamento por fileira de plantas. Entretanto, pode-se usar apenas uma linha de gotejamento por fileira de plantas, com uma ramificação por planta ("rabo de porco") ou dispor os gotejadores em círculo ou anel em torno do tronco, no qual podem ser inseridos de 4 a 6 gotejadores dependendo da textura do solo e estratificação do perfil. Os métodos de irrigação, tal como a aspersão sub copa ou irrigação por superfície, apresentam menor eficiência e uniformidade de distribuição de água, além de outras desvantagens inerentes desses métodos para uma cultura de alto valor comercial.

5.7.2. Necessidades hídricas

A mangueira na região semi-árida requer uma quantidade de água próxima de 1368 mm/ha por ano (Silva et al., 1994). É uma cultura que pode resistir à deficiência de água no solo por um período de até oito meses. Esse longo período de resistência ao estresse tem sido confirmado em diversos plantios em diferentes condições edafoclimáticas, quer seja subúmido, quer seja semi-árido, onde o estresse hídrico a que as plantas são submetidas por dois ou mais meses não são efetivos. A mangueira necessita de água durante a formação floral; todavia essa necessidade não chega a ser crítica. O período crítico ocorre após o estabelecimento dos frutos, quando a falta da irrigação por um período de 30 dias é suficiente para reduzir o tamanho dos frutos em 20% comparado com a cultura sob irrigação. O período mais crítico para irrigação, ou quando a manga é mais sensível à falta de água no solo compreende as 4-6 semanas após o estabelecimento dos frutos.

O excesso de água no solo, ou a saturação do solo, causa redução das atividades vegetativas da planta após 2 a 3 dias, quando os níveis de O_2 no solo caem de 20% a abaixo de 5%; entretanto, a deficiência de aeração no solo pode ser suportável por meses, uma vez que a manga é considerada moderadamente tolerante ao encharcamento do solo.

A mangueira pode ser ininterruptamente irrigada, considerando o estado inicial e o estado adulto, mas a irrigação pode, também, ser interrompida para causar estresse hídrico na planta e diferenciação dos tecidos, voltando a ser aplicada após a indução, durante a formação das flores.

O momento da irrigação pode ser detectado por avaliações do estado hídrico da planta e do solo. O monitoramento do estado hídrico da planta pode ser feito pelo potencial hídrico da planta. Em folhas jovens a perda de turgor ocorre com o potencial de água na folha de -1200 kPa, enquanto em folhas maduras a perda de turgor ocorre para potencial de -1750 kPa.

As tensões de água para manter o solo em teores razoáveis para a cultura da manga estão entre 15 e 25 kPa em solo arenoso, podendo alcançar de 30 a 60 kPa em solo argiloso.

As produtividades têm sido verificadas para uma redução máxima de 33% da disponibilidade de água durante o período crítico (floração a colheita) e 66% da disponibilidade de água no restante do ano (Azzouz et al., 1977). Nesse caso, como nos das outras fruteiras, pode-se adotar a redução máxima da disponibilidade de água de 50% como um índice inicial.

5.7.3. Manejo da irrigação

Figura 9. Microaspersão em manga.



5.8. Maracujá

5.8.1. Métodos de irrigação

O método mais comum encontrado na irrigação do maracujá tem sido basicamente a irrigação localizada, isto é, o gotejamento e a microaspersão, embora possa se encontrar aspersão em algumas áreas. A aspersão tem uma significativa desvantagem durante a floração quando, devido à água em contato com os grãos de pólen, provoca o estouro desses grãos reduzindo a possibilidade de fecundação. No caso da microaspersão (Figura 10), ocorre formação de um microclima transiente em parte do ciclo da irrigação, que pode favorecer o aparecimento de doenças. No caso do gotejamento essas possibilidades são reduzidas pela natureza da irrigação. Tanto no caso da microaspersão como do gotejamento, deve-se evitar que o sistema radicular fique sob altos teores de água continuamente, o que pode causar presença de doenças fúngicas.



Figura10. Microaspersão em maracujá.

5.8.2. Necessidades hídricas

A cultura do maracujá apresenta bom desempenho em regiões de precipitação total anual de 1350 a 1600 mm; entretanto, 1328 mm são suficientes para maximização da produção. A deficiência hídrica

no solo afeta a área foliar, o comprimento dos ramos e nós, a emissão dos botões florais e o tamanho e o número de flores. O estresse hídrico afeta mais o tamanho das flores, que propriamente contribui para a queda das mesmas.

5.8.3. Manejo da irrigação

Os teores de água no solo arenoso devem corresponder a valores de potencial matricial próximos de -6 kPa em solo arenoso e próximos de -20 kPa em solo de textura média a argilosa. As poucas informações disponíveis indicam que os intervalos de irrigação de 7 e 14 dias foram indiferentes no desempenho da cultura.

O maracujá tem apresentado rendimentos maximizados para o coeficiente 0,75 a ser multiplicado diretamente pelo tanque Classe A.

6. Literatura Citada

ARAUJO, J. A. C. Irrigação da cultura do mamão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DO MAMOEIRO, 2., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1988. p.161-175.

ARRUDA, F. B.; ZULLO, J. R.; OLIVEIRA, J. B. Estimativa de parâmetros de solos para cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, p.11-15, 1987.

ALLEN, R. G. **Irrigation engineering**: course lecture notes, Logan, Utah: Utah State University, Department of Agricultural Engineering, 1992. 297 p.

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**, v.55, nº 3, p. 59-66, 1977.

CASTRO, J. B. Cuidados com o cultivo do mamão refletem na aparência dos frutos. O Estado de São Paulo. **Suplemento Agrícola**, v.1322, p.6. 1980.

CASTEL, J. R. Evapotranspiration of drip irrigated *Clementine citrus* tree in a weighing lysimeter. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION AND HORTICULTURAL CROPS**, 2. S.I., 1996. Proceedings. Editado por K. S. Chartozulakis. v. 1, p. 91-98, 1996.

COELHO, E. F.; CONCEIÇÃO, M. A. F; SOUSA, V. A. B. Estimativa dos limites de disponibilidade de água em função da densidade global e da textura do solo. **Revista Ceres**, v.45, p.183-192, 1998.

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**, v.2, p. 241-256, 1979.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO Irrigation and Drainage, 1979, (Paper 33). 193p.

DOORENBOS, J. PRUIT, W. **Irrigation water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Drainage, 1977, (Paper 24).

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

HILGEMANN, R. H.; SHARP, F. O. Response of *Valencia orange* trees to four soil water schedules during 20 years. **American Society of Horticultural Science Journal**, v. 95, n. 6, p.739-745, 1970.

IRFA. La culture de l'ananas d'exportation en cote D'Ivoire: **Manuel du planteur**. Abidjan: Nouvelles Editions Africaines, 1984. 112p.

JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1983, 829p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York, USA: van Nostrand Reinholds, 1990. 650p.

LUNA, J. V. U. **Instruções para a cultura do mamão**. Salvador: EPABA, 1982. 22p. (EPABA. Circular Tecnica, 1).

MADHAVA RAO, V. N. P.; SHANMUGAVELU, K. G. Papaya less seeded, more nutrition. **Indian Horticulturae**, v.16, p.5-8, 25, 1971.

MANICA, I. **Mamão**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. 255 p.

MARLER, T. E.; GEORGE, A. P.; NISSEN, R. J.; ANDERSEN, P. C. Papaya. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Eds.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Washington, USA: Library of Congress, 1994. p. 199-224.

MARTIN, D. L.; STEGMAN, E. C.; FERERES, E. Irrigation Scheduling principles. In: **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph, USA: American Society of Agricultural Engineers, 1990. p. 155-203.

MEDCALF, J. C. Respostas do abacaxizeiro quando irrigado. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ABACAXICULTURA**, 1., 1982, Jaboticabal, SP. Anais... Jaboticabal, SP: FCAV, 1982. p.91-98.

MENZEL, C. M.; SIMPSON, D. R. Passionfruit In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Eds.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Washington, USA: Library of Congress, 1994. p. 225-242.

PAPA, E. G. **Produção e qualidade de frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivado em casa de vegetação e em campo com irrigação por gotejamento ou jato pulsante**. 1984. 39f. (Tese de Mestrado) UNESP. Jaboticabal.

PHENE, J. C. Operational principles In: NAKAYAMA, F. S. e BUCKS, D. A. (Eds.). **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986, p.142-163.

PY, C.; LACOEUILHE, J. J.; TEISON, C. L'ananas, sa culture, ses produits. Paris: G. P. Maisonneuve et Larose et A.C.C.T., 1984. 562p.

RUNGSIMANOP, C.; SUKSRI, A.; SRINUKUL, S. Some irrigation methods which influence the growth of custard apple and papaya when intercropped in northeast Thailand. **Horticultural Abstract**, v. 58, p.472-478, 1988.

SILVA, D. A. M.; VIEIRA, V. J. S.; MELO, J. J. L.; ROSA JUNIOR, C. D. R. M.; SILVA FILHO, A. V. S. **Mangueira (*Mangifera indica* L.): cultivo sob condição irrigada**. Recife, 1994. 42p. (Agricultura, 19)

SOUSA LIMA, C. A. S.; MEIRELLES, M. L. Exigência hídrica e irrigação do mamoeiro. **Informe Agropecuário**, v. 12, p.37-39, 1986.

SCHAFFER, B.; WHILEY, A. W.; CRANE, J. H. Mango In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Eds.) **Handbook of enviromental physiology of fruit crops**. Washington, USA: Library of Congress, 1994. p.165-198.

STEGMAN, E. C. **Irrigation water management**. In: JENSEN, M. E. (Ed.). Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1983. p. 763-816.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. J. Citrus In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Eds.). **Handbook of enviromental physiology of fruit crops**. Washington, USA: Library of Congress, 1994. p. 65-100.

TURNER, D. W. Banana In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Eds.) **Handbook of enviromental physiology of fruit crops**. Washington, USA: Library of Congress, 1994. p. 37-64.

WHILEY, A. W.; SCHAFFER, B. Avocado In: Schaffer, B.; Andersen, P. (Eds.) **Handbook of enviromental physiology of fruit crops**. Washington, USA: Library of Congress, 1994, p. 3-36.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
Rua Embrapa, s/n - CP. 007, 44380-000 - Cruz das Almas, BA
PABX (075) 721-2120 - Fax: (75) 721-1118
www.cnpmf.embrapa.br

APOIO:

