

MARCELO ROCHA DOS SANTOS

**IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO NA CULTURA DA  
MANGUEIRA NO SEMIÁRIDO BAIANO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S237i  
2012

Santos, Marcelo Rocha dos, 1979-  
Irrigação com déficit hídrico controlado na cultura da  
mangueira no semiárido baiano / Marcelo Rocha dos Santos.  
– Viçosa, MG, 2012.  
xiii, 79f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Mauro Aparecido Martinez.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 71-77

1. Manga - Condições hídricas. 2. Manga - Irrigação.  
3. *Mangifera indica*. I. Universidade Federal de Viçosa. II.  
Título.

CDD 22. ed. 634.44

MARCELO ROCHA DOS SANTOS

**IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO NA CULTURA DA  
MANGUEIRA NO SEMIÁRIDO BAIANO**

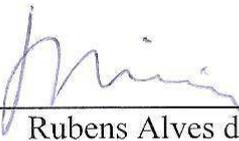
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 06 de julho de 2012.

  
\_\_\_\_\_  
Carlos Elizio Cotrim

  
\_\_\_\_\_  
Sérgio Luiz Rodrigues Donato

  
\_\_\_\_\_  
Sílvio Bueno Pereira

  
\_\_\_\_\_  
Rubens Alves de Oliveira

  
\_\_\_\_\_  
Mauro Aparecido Martinez  
(Orientador)

## **AGRADEÇO**

Aos meus pais,

aos meus irmãos,

à minha afilhada e sobrinhas,

aos meus amigos,

## **DEDICO**

À comunidade Técnico-Científica.

## **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e à natureza, pela nossa existência.

Também agradeço aos meus pais Manoel e Cleuza, por sempre estarem presentes nas contribuições que foram cruciais para a realização deste trabalho.

À Miralva, pelo incentivo e apoio em seguir a carreira acadêmica e pelos conselhos de vida.

Aos meus irmãos Cleides, Lucilene, Roseneide, Noeli, Daniel e Inaiá, pela amizade, incentivo e respeito.

À minha afilhada Victoria, Aysla, Eloah, Stefanie e Taylan (sobrinhos) pela alegria proporcionada.

À Leila Viana pelo companheirismo, carinho e apoio.

Ao Professor Mauro Aparecido Martinez, pela sincera orientação e amizade.

Aos meus coorientadores Gilberto C. Sedyama e Eugênio Ferreira Coelho pelas colaborações na melhoria do trabalho.

Ao Professor Sérgio Luiz Rodrigues Donato pela importante colaboração no acompanhamento e execução das atividades de campo, contribuição nas análises estatísticas e confiança.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) pela oportunidade concedida para a realização do curso.

Aos professores do DEA e outros departamentos, pelo valioso conhecimento transmitido.

Aos professores Carlos Elízio Cotrim e Alessandro Magalhães Arantes pelo auxílio na condução dos trabalhos de campo.

A Ancilon Araújo e Silva Júnior pela cooperação nas soluções de demandas de materiais, insumos e pessoas para o bom andamento das atividades de campo.

Aos professores Jefferson da Silva Pereira, Leandro da Silva Peixoto, Cláudio Roberto Meira de Oliveira, João Abel da Silva, Paulo Donato, Alexsandro Brito e demais professores do IFBaiano pela amizade e confiança.

Ao técnico Aloísio José dos Santos pelas determinações com o IRGA.

Ao técnico de campo Zé, pela contribuição desde a adubação à colheita.

À Zé de Tó pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Aos Estagiários Breno Rosa Neves e Rone Kesley B. Rocha Silva pelo auxílio no manejo da irrigação e coleta de dados e Bismarc pelo auxílio nos trabalhos com raízes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos no período inicial do doutorado.

Ao IF Baiano *Campus* Guanambi, em nome do Diretor Carlos Elízio Cotrim, pelo acolhimento e disponibilidade da área experimental, de equipamentos e de recursos para execução do trabalho.

Aos professores da banca examinadora Carlos Elízio, Sérgio Donato, Rubens Alves, Sílvio Bueno e Mauro Martinez, pelas contribuições para melhoria do Trabalho.

Aos colegas Fernando Rocha, Zonta, Danilo Ribeiro, Donizete, Fabio Matos, Alisson, João Batista, Danilo Paulúcio e André Quintão pela amizade, grandes incentivos e descontração.

## BIOGRAFIA

MARCELO ROCHA DOS SANTOS, filho de Manoel Messias dos Santos e Cleuza Rocha dos Santos, nasceu na cidade de Rio do Pires, BA, em 23 de maio de 1979.

Em março de 1996, iniciou seus estudos no curso de Magistério, nível médio, em sua terra natal e concluiu o mesmo em dezembro 1998. Em 1999, trabalhou na rede municipal de ensino.

Em 2001, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, em Cruz das Almas, BA, e concluiu em agosto de 2006. Durante três anos e meio desse período, estagiou na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Mandioca e Fruticultura) na área de irrigação, com ênfase na fertirrigação do mamoeiro e bananeira, sendo três anos como bolsista PIBIC/CNPq. Estagiou seis meses na Sociedade de Estudos dos Ecossistemas e Desenvolvimento Sustentável (SEEDs), onde atuou nos estudos de viabilidade econômica de sistemas agroflorestais.

Em Outubro de 2006, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, e defendeu a dissertação em Julho de 2008.

Em Maio de 2009, foi aprovado no Concurso Público destinado ao Provimento de Cargo na Carreira de Professor do Magistério do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Quadro de Pessoal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano/IFBaiano *Campus* Guanambi – BA, entrando em exercício em Janeiro de 2010. Atualmente, ministra aulas de Irrigação e Hidráulica Agrícola para o ensino médio profissionalizante (cursos Técnico em Agropecuária e em Agricultura) e para o ensino superior (Agronomia), respectivamente.

Em Agosto de 2008, iniciou o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa da tese em julho de 2012.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1. A mangueira .....	5
2.2. A cultura da mangueira no Brasil .....	6
2.3. A manga Tommy Atkins.....	6
2.4. Profundidade efetiva e distribuição das raízes .....	8
2.5. Trocas gasosas .....	9
2.6. Relações hídricas na mangueira em regiões tropicais.....	10
2.7. Época de irrigação e estratégia de manejo de irrigação .....	12
2.8. Evapotranspiração da cultura.....	14
2.8.1. Evapotranspiração de plantas isoladas .....	14
2.8.2. Evapotranspiração da cultura por Penman-Monteith Padrão FAO 56. ....	17
2.8.2.1. Coeficiente de cultura (Kc).....	17
2.8.3. Balanço de água no solo.....	19
2.9. Produtividade da cultura em diferentes regimes de irrigação .....	20
2.9.1. Influência do estresse hídrico na produção.....	21
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1. Descrição das condições experimentais .....	23
3.2. Delineamento experimental e condução do experimento.....	26
3.2.1. Desenvolvimento de software para manejo da irrigação na mangueira - IrriManga .....	30
3.3. Características do solo no local do experimento.....	32
3.4. Calibração de sondas de TDR.....	33

3.5.	Teor de água no solo e extração de água .....	34
3.6.	Trocas gasosas e temperatura foliar .....	37
3.7.	Análise de produtividade e qualidade de frutos .....	37
3.8.	Eficiência de uso da água.....	38
3.9.	Distribuição do sistema radicular .....	38
3.10.	Análise dos dados .....	39
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
4.1.	Teor de água no solo e extração de água .....	41
4.2.	Distribuição do sistema radicular .....	46
4.3.	Trocas gasosas e temperatura foliar.....	53
4.3.1.	Transpiração.....	53
4.3.2.	Fotossíntese.....	55
4.3.3.	Condutância estomática.....	56
4.3.4.	Concentração interna de CO <sub>2</sub> .....	58
4.3.5.	Temperatura foliar.....	60
4.4.	Número de frutos .....	62
4.5.	Produtividade .....	64
4.6.	Eficiência de uso da água.....	67
5.	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>69</b>
6.	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>70</b>
7.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>
8.	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

AC	Ascensão capilar	L
Af	Área foliar	L <sup>2</sup>
At	Área média da projeção da copa sobre o terreno	L <sup>2</sup>
C <sub>p</sub>	Calor específico do ar	MJ M <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>
d	Dimensão característica das folhas	L
D	Drenagem interna	L
Da	Déficit de saturação do ar	kPa
DAF	Dias após a floração	
DCR	Densidade de comprimento de raízes	LL <sup>-3</sup>
Dhz	Variação da armazenagem de água	L
E1	Espaçamento entre fileiras	L
E2	Espaçamento entre plantas dentro da fileira	L
Ea	Eficiência de aplicação	
ETc	Evapotranspiração da cultura	LT <sup>-1</sup>
ETo	Evapotranspiração de referência	LL
EUA	Eficiência de uso da água	ML <sup>2</sup>
gf	Condutância da folhagem	LT <sup>-1</sup>
gr	Condutância de referência	LT <sup>-1</sup>
I	Irrigação	L
J	Parâmetro que leva em consideração a presença de estômatos em um ou em ambos os lados da folha	
Ka	Constante dielétrica	
Kc	Coefficiente de cultura	
Kl	Coefficiente de localização	
LBA	Lâmina bruta de irrigação	L
Lr	Comprimento de raízes	L
ne	Número de emissor por planta	
NF	Número de frutos	
p	Medida da densidade foliar “vista” pelo vento	
Pe	Precipitação	L
Pr	Produtividade	ML
q	Vazão do emissor	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>
r	Albedo	
R	Escoamento superficial	L
r <sub>a</sub>	Resistência aerodinâmica	S L <sup>-1</sup>
RFAf	Radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela árvore	mmol L <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup>
Rg	Radiação solar incidente	W L <sup>-2</sup>
Rga	Radiação solar absorvida (interceptada) pela copa	W L <sup>-2</sup>

Rn	Saldo de radiação medido acima das arvores	$W L^{-2}$
Rnf	Total de radiação interceptada pela copa da arvore	$W L^{-2}$
Rp	Reposição da ETc	
$r_s$	Resistência da superfície	$S L^{-1}$
Ti	Tempo de irrigação	T
u	Velocidade média tomada à altura média da copa	$L T^{-1}$
Vr	Volume de solo ocupado pelas raízes	$L^2$
$\alpha$	Coefficiente de ajuste da Thorpe et al. (1980)	
$\beta$	Coefficiente de ajuste da Thorpe et al. (1980)	
$\gamma$	Constante psicométrica	$kPa^{\circ}C^{-1}$
$\Delta$	Declividade da curva de pressão de vapor	$kPa^{\circ}C^{-1}$
$\eta$	Razão entre as resistências aerodinâmicas ao transporte de calor latente e calor sensível	
$\lambda E$	Evapotranspiração	$MJ L^{-2} T^{-1}$
$\rho_a$	Densidade média do ar a pressão constante	$ML^3$

## RESUMO

SANTOS, Marcelo Rocha dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Irrigação com déficit hídrico controlado na cultura da mangueira no semiárido baiano.** Orientador: Mauro Aparecido Martinez. Coorientadores: Eugênio Ferreira Coelho e Gilberto Chohaku Sedyama.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da irrigação com déficit controlado, aplicado ao período de floração à maturação dos frutos, sobre a produção comercial, eficiência do uso da água, trocas gasosas, temperatura foliar, extração de água e distribuição do sistema radicular de mangueira ‘Tommy Atkins’, cultivada em região semiárida. O trabalho foi desenvolvido numa área experimental da CODEVASF, localizada no Perímetro Irrigado de Ceraíma, Município de Guanambi, Sudoeste da Bahia, em um Neossolo Flúvico eutrófico. O experimento foi conduzido por dois ciclos produtivos do pomar aos 11 e 12 anos de idade, com árvores espaçadas de 8,0 m x 8,0 m, irrigadas por microaspersão. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram: 1 – Irrigação suprindo 100% da E<sub>Tc</sub> da floração à colheita dos frutos; 2 – 50% da E<sub>Tc</sub> do início da floração ao início da expansão dos frutos e 100% deste até a maturação fisiológica; 3 – 100% da E<sub>Tc</sub> do início da floração ao início da expansão dos frutos, 50% do início da expansão até início da maturação fisiológica e 100% na maturação fisiológica dos frutos; 4 – 100% da E<sub>Tc</sub> do início da floração ao final da expansão dos frutos e 50% na maturação fisiológica; 5 – Sem irrigação. As irrigações foram realizadas com base na evapotranspiração de referência (E<sub>To</sub>) determinada diariamente por meio do método de Penman-Monteith FAO 56. O teor de água do solo foi monitorado com uso de TDR. Durante as fases I, II e III e para todos os tratamentos, as taxas de transpiração e de fotossíntese, a condutância estomática, a concentração interna de CO<sub>2</sub> e a temperatura foliar foram determinadas por meio de um analisador de gás infravermelho (IRGA). Os tratamentos foram comparados quanto à produtividade total, em número de frutos, à produtividade e número de frutos por classes de peso, quanto à eficiência de uso da água, trocas gasosas e densidade de comprimento de raízes total e por classes de diâmetros. A extração de água, independentemente do tratamento, dá-se, principalmente, à distância inferior a 1,50 m do caule e nos primeiros 0,50 m de profundidade. Não houve diferenças significativas na densidade de

comprimento de raízes (DCR) entre os tratamentos 1, 2, 3 e 4, assim como entre os tratamentos 1, 4 e 5. A maior DCR está compreendida de 0 a 1,0 m de distância do caule e 0,20 a 0,90 m de profundidade. Houve influência do manejo com RDI na produtividade. A aplicação da RDI com 50% da ETc na terceira fase de desenvolvimento do fruto resultou em maior número de fruto, maior produtividade e melhor eficiência de uso da água. A aplicação da RDI com 50% da ETc na fase de pegamento dos frutos ocasiona redução significativa no número de frutos e decréscimo na produtividade. As classes de peso de fruto 400 e 500 g apresentam maiores contribuições na produtividade total nos tratamentos 1, 2, 3 e 4. O déficit hídrico total ou parcial no solo ocasionou redução na taxa fotossintética, na transpiração e na condutância estomática das folhas da mangueira 'Tommy Atkins'. O déficit hídrico parcial no solo não ocasiona alterações significativas na concentração interna de CO<sub>2</sub> e na temperatura foliar da mangueira 'Tommy Atkins'.

## ABSTRACT

SANTOS, Marcelo Rocha dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Regulated deficit irrigation on mango tree in semiarid of Bahia.** Adviser: Mauro Aparecido Martinez. Co-advisers: Eugênio Ferreira Coelho and Gilberto Chohaku Sedyama.

The objective of this study was to evaluate the effect of regulated deficit irrigation applied to the flowering period of fruit ripening on the commercial production, water use efficiency, gas exchange, leaf temperature, water extraction and distribution of root system mango 'Tommy Atkins' grown in the semiarid region. The study was conducted in an experimental area located in the CODEVASF Irrigated Perimeter of Ceraíma, Guanambi County, southwest of Bahia, in Fluvic Eutrophic Neosol. The experiment was conducted for two production cycles at 11 and 12 years old orchard, with trees spaced at 8.0 m x 8.0 m, irrigated by micro-sprinkler. The experimental design was randomized blocks with five treatments and six replications. The treatments were: 1 - Irrigation supplying 100% of ET<sub>c</sub> flowering to harvest the fruit, 2 - 50% of ET<sub>c</sub> from beginning of flowering to the beginning of the expansion of fruit and 100% of up to physiological maturity, 3 - 100% ET<sub>c</sub> the onset of flowering to the beginning of fruit growth, 50% from the beginning to start the expansion of physiological maturation and 100% during physiological maturation of the fruit, 4-100% ET<sub>c</sub> the beginning of bloom after the expansion of the fruit and 50% at physiological maturity, 5 - Without irrigation. Irrigation was performed based on reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) determined daily using the Penman-Monteith FAO 56. The soil water content was monitored using TDR. During phases I, II and III and for all treatments the rate of transpiration and photosynthesis, stomatal conductance, internal CO<sub>2</sub> concentration and leaf temperature were determined by means of an infrared gas analyzer (IRGA). The treatments were compared in terms of total yield, fruit number, yield and number of fruits per weight classes, and the water use efficiency, gas exchange and total root density length and diameter classes. The extraction of water regardless of the treatment is primarily a distance less than 1.50 m from the plant and the first 0.50 m depth. No significant differences in the root density length (RDL) between treatments 1, 2, 3 and 4, as well as between treatments 1, 4 and 5. Most RDL is comprised from 0 to 1.0 m from the plant and 0.20 to 0.90 m long. There was influence of RDI management with

productivity. The application of RDI with 50% of ETc in the third stage of fruit development resulted in a greater number of fruit, higher yield and improved water use efficiency. The application of the RDI 50% ETc phase of fruit set causes significant reduction in the number of fruit and reduction in yield. Weight classes 400 and 500 g have higher contributions to total yield for treatments 1, 2, 3 and 4. The total or partial water deficit in the soil decreased the photosynthetic rate, transpiration and stomatal conductance of leaves of mango 'Tommy Atkins'. The water deficit in soil part does not cause significant changes in internal CO<sub>2</sub> concentration and leaf temperature of mango 'Tommy Atkins'.

## 1. INTRODUÇÃO

No cenário da agricultura irrigada, tem-se observado, nos últimos anos, um aumento da produção bem como da área cultivada. As fruteiras têm apresentado contribuições relevantes neste contexto, fazendo com que a fruticultura brasileira, atualmente, seja considerada uma das maiores do mundo, no que se refere tanto à produção de frutas frescas quanto à área cultivada. Entre as principais fruteiras, pode-se destacar a cultura da mangueira, onde a maior área cultivada ocorre no nordeste brasileiro.

A mangueira é cultivada em todos os estados do nordeste, em particular, nas áreas irrigadas da região semiárida, que apresentam excelentes condições para o desenvolvimento da cultura e a obtenção de elevada produtividade e qualidade de frutos.

Os principais estados produtores de manga são: Bahia, Pernambuco, São Paulo, Minas Gerais e Ceará, que participaram, respectivamente, com 45,10%, 16,44%, 15,59%, 8,26% e 3,65% (IBGE, 2012), sendo que a região nordestina responde por 73,41%. Na Bahia, podem-se destacar como polos produtores de manga, Juazeiro, Livramento de Nossa Senhora, Rio Corrente, Itaberaba e Ceraíma/Estreito, todos no semiárido baiano, onde se faz uso da irrigação.

Trabalhos de pesquisas têm mostrado não ser necessária a irrigação na cultura da mangueira durante a diferenciação do broto floral, mas se deve iniciar logo a seguir, na fase de emergência da panícula (COELHO et al., 2007). Os mesmos autores ressaltam que o período mais crítico de demanda hídrica da mangueira é de quatro a seis semanas após o estabelecimento dos frutos.

Estratégias de manejo de irrigação, no que diz respeito ao uso racional de água, têm sido adotadas em algumas regiões, até mesmo onde a água não é fator limitante, para uso nas culturas irrigadas. Neste âmbito, podemos destacar as técnicas de irrigação denominadas de irrigação com déficit controlado – RDI (Regulated Deficit Irrigation) e irrigação lateralmente alternada – PRD (Partial Rootzone Drying), também referidas no Brasil como irrigação com secamento parcial do sistema radicular (SAMPAIO et al., 2010), ou melhor, irrigação com secagem parcial da zona radicular.

A técnica da RDI foi inicialmente aplicada em pomares de pessegueiro e pereira para controlar o crescimento vegetativo e reprodutivo por meio da imposição de estresse hídrico em fases importantes do desenvolvimento do fruto (McCARTHY, 2000). Paço (2003) ressalta que

RDI é um manejo de irrigação que consiste na aplicação da irrigação com *déficits* em estádios de desenvolvimento da planta cujo crescimento e qualidade do fruto têm baixa sensibilidade ao estresse hídrico, ou seja, é possível a redução do consumo de água e energia sem grandes prejuízos na qualidade do fruto e na produtividade do pomar. Por outro lado, o manejo de irrigação, baseado na PRD, consiste na alternância do lado da planta a ser irrigado, durante 10 a 14 dias, principalmente, entre as fases fenológicas de pegamento do fruto e colheita. A PRD baseia-se em respostas bioquímicas das plantas para alcançar um equilíbrio entre o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo por meio do estresse hídrico; em consequência, há melhoria significativa da produção por unidade de água de irrigação aplicada (McCARTHY, 2000).

A RDI, como uma técnica de manejo, foi pesquisada em diversas culturas, dentre elas, podemos citar: na mangueira por Coelho Filho et al. (2005), Spreer et al. (2007 e 2009), Cotrim (2009), Silva et al. (2009) e Cotrim et al. (2011); na pereira por Marsal et al. (2008); na videira por McCarthy (2000); Wample (2000); Ferreyra et al. (2002) e Silva (2005); no pessegueiro por Gelly et al. (2004); na nespereira por Cuervas et al. (2007); no meloeiro por Fabeiro et al. (2002); na oliveira por Iniesta et al. (2009); no tomateiro por Savić et al. (2008); no alho por Cortés et al. (2003); na cebola por Olalla et al. (2004); na beterraba por Fabeiro et al. (2003); no milho por Kang et al. (2000); no feijoeiro e na melancia por González et al. (2009); na jujuba (*Zizyphus jujube* Mill.) por Cui et al. (2008).

No Norte da Tailândia, Spreer et al. (2007) não encontraram redução significativa a 5% de probabilidade na produção e qualidade do fruto da mangueira 'Chok Anan' e afirmam ser possível obter uma produção sustentável com o uso do RDI e PRD com 50% da ETc. Spreer et al. (2009) ressaltam que uma irrigação deficitária de 30 a 50% resulta em uso eficiente alto e grande economia de água. Os autores observaram que com uso da RDI e da PRD com 50% da ETc, no ano mais seco, a produtividade na PRD foi maior quando comparada com RDI, enquanto que, no ano mais chuvoso, a produtividade na RDI foi maior que na PRD. Com respeito à distribuição de tamanho dos frutos e à média do tamanho dos frutos, os mesmos autores ressalvam que os tratamentos com PRD sempre foram melhores que todos os tratamentos com RDI.

Silva et al. (2009), ao trabalharem com mangueira 'Tommy Atkins' na região de Petrolina, PE, observaram que a evapotranspiração da mangueira e a eficiência de uso da água foram influenciadas pelo teor de água no solo. As produtividades nos tratamentos com 70%, 80%

e 90% da ETo foram significativamente maiores, a 5% de probabilidade, que a produtividade do tratamento controle (100% da ETo). A maior produtividade foi obtida no tratamento de irrigação com 90% da ETo e a menor no tratamento com 100% da ETo. Os autores concluíram que a eficiência no uso da água, na região estudada, pode ser melhorada quando programada a irrigação com 90% de ETo. No entanto, Cotrim (2009), ao aplicar a técnica RDI, também com mangueira 'Tommy Atkins', não encontrou diferenças significativas, a 5% de probabilidade, na produtividade, peso médio dos frutos, número de frutos por planta e eficiência de uso da água entre os tratamentos de 100, 80, 60 e 40% da ETc, tanto sob microaspersão quanto sob gotejamento nos anos de 2006 e 2007 no semiárido baiano. O mesmo autor ressalva que, no período de avaliação, houve ascensão do lençol freático, o que, provavelmente, influenciou os resultados obtidos.

Coelho Filho e Coelho (2005) utilizaram a técnica RDI em mangueira 'Tommy Atkins' e não encontraram diferenças estatísticas entre os tratamentos para produtividade, número de frutos por plantas e peso médio dos frutos. Mostraram que é possível a diminuição do uso da água na prática da irrigação em condições semiáridas sem perdas significativas de produtividades. O trabalho constituiu na aplicação de déficits hídricos em três fases de crescimento do fruto, utilizando como tratamentos 50%, 70% e 85% da evapotranspiração da cultura (ETc). Estes tratamentos foram compostos de uma fase com déficit e duas sem déficits, perfazendo um total de nove e com a utilização da irrigação total em todas as fases como testemunha.

A adoção de técnicas de manejo de irrigação, que visa à sustentabilidade produtiva com menor demanda de água, é de fundamental importância, principalmente, em regiões semiáridas, onde a demanda de água é elevada e a disponibilidade deste recurso é pequena quando comparada com as demais regiões do país.

De acordo com a nova delimitação (PEREIRA JUNIOR, 2007), o semiárido brasileiro é aquela região cuja precipitação média anual é inferior a 800 mm e índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico, no período entre 1961 e 1990. Entretanto, em análises de séries de dados, verifica-se que, nos anos mais secos, chove até menos que 200 milímetros (ANA, 2012) nesta região.

Onde geralmente ocorre baixa precipitação anual e/ou má distribuição das chuvas durante o ano, obtém-se bons resultados na agricultura com o uso da irrigação. A intensificação da prática da irrigação configura uma posição estratégica de grande alcance para aumentar a oferta de

produtos destinados ao mercado interno, consolidar a afirmação comercial do Brasil no mercado internacional altamente competitivo e melhorar os níveis de produção, produtividade, renda e emprego no meio rural. No entanto, ela exerce um grande impacto sobre os escassos recursos hídricos (COTRIM, 2009).

Diante do exposto e ao se ter em vista a escassez de informações na literatura sobre uso da RDI em condições de semiárido brasileiro, torna-se importante a realização de mais estudos relacionados à irrigação com redução da lâmina aplicada em determinada fase de produção da cultura, na qual não há prejuízos econômicos. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da irrigação com déficit controlado, aplicado ao período de floração à maturação dos frutos, sobre a produção comercial, eficiência de uso da água, trocas gasosas, temperatura foliar, distribuição do sistema radicular e extração de água do solo da mangueira ‘Tommy Atkins’ cultivada em região semiárida.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A mangueira

A mangueira é originária da Índia, onde existe mais de mil variedades e tem sido cultivada por mais de 4 mil anos (CUNHA et al., 2002). Atualmente, a cultura já se encontra espalhada por toda parte do mundo.

A mangueira (*Mangifera indica* L.) pertence à classe Dicotiledônea e à família Anacardiaceae e suas variedades são geralmente divididas em dois grupos: Indiano (monoembriônicas, fortemente aromáticas, de coloração vermelha atraente e susceptível à antracnose) e indochinês (poliembriônicas, caroços longos e achatados, pouco aromáticas, geralmente amareladas e mediamente resistente à antracnose) (CUNHA et al., 2002).

A árvore é frondosa, de porte médio a grande. Pode atingir até 30 m de altura, com copa arredondada e simétrica, folhagem sempre verde, variando de baixa e densa à ereta e aberta, às vezes, de forma piramidal (CUNHA et al., 2002).

O sistema radicular da mangueira é caracterizado por uma raiz pivotante, que pode se aprofundar bastante no solo, o que permite uma boa sustentação da planta e sua sobrevivência em períodos de seca. Outras raízes verticais originam-se de raízes da superfície, as quais, a exemplo da pivotante, apresentam radículas, principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes da solução do solo (CUNHA et al., 2002).

As folhas são ovóide-lanceolada, de textura coriácea, face superior plana, pecíolo curto (2,5 a 10 cm), medem de 15 a 40 cm de comprimento, de 1,5 a 4,0 cm de largura e apresentam coloração verde-clara a levemente amarronzada ou arroxeada, quando jovens e verde normal a escuro, quando maduras (CUNHA et al., 2002). A inflorescência apresenta flores hermafroditas e masculinas na mesma panícula, que é geralmente terminal, às vezes lateral, ramificada, de forma piramidal com raque comumente ereta. O fruto é uma drupa, com tamanho e peso que variam de poucos gramas a 2 kg, de forma reniforme, ovada, oblongada, arredondada e casca com diferentes variações das cores verde, amarelo e vermelho.

## **2.2. A cultura da mangueira no Brasil**

Os principais estados produtores de manga são: Bahia, Pernambuco, São Paulo, Minas Gerais e Ceará, que participaram, respectivamente, com 45,10%, 16,44%, 15,59%, 8,26% e 3,65% do total nacional (IBGE, 2012), sendo que a região nordeste responde por 73,41%. Na Bahia, podem-se destacar como polos produtores de manga, os de Juazeiro, Livramento de Nossa Senhora, Rio Corrente, Ceraíma/Estreito e Itaberaba, todos no semiárido baiano, onde se faz uso da irrigação.

Com uma área cultivada superior a 31,2 mil hectares, dos quais 26,2 mil irrigados, a Bahia é o principal estado produtor e exportador de manga do País. O Estado produziu em 2008, mais de 1,11 milhões de toneladas dessa fruta, o que corresponde a mais de 51% da safra nacional de manga (OLIVEIRA e ANJOS, 2008). Estes autores ressaltam que, nos últimos oito anos, a área plantada com essa fruta na Bahia apresentou uma variação de 136% e saiu de 13 mil hectares no ano 2000, para mais de 31 mil ha, em 2008.

Em 2010, o País exportou 124.694 toneladas de manga, 13,15% a mais que em 2009, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Frutas (IBRAF). Desse total, 99.002 t saíram do vale do São Francisco, ou seja, o nordeste exportou aproximadamente 80% de manga do total brasileiro. Em valores, o setor movimentou US\$119,9 milhões, o que representou variação positiva de 23,15% na comparação com o ano anterior. Entre os principais compradores, figuraram países da Europa, como a Holanda, para onde foram enviadas 60.941 t, e os Estados Unidos, que importaram 24.610 t (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2011).

## **2.3. A manga Tommy Atkins**

A 'Tommy Atkins' originou nos anos 20, em Fort Lauderdale, Flórida, EUA, como uma progênie da Haden. Árvore cheia e densa. Fruto de tamanho médio para grande, 450 g, com casca espessa, oval, laranja amarela coberta com vermelho e púrpura intensa. Firme, suculenta, teor de fibra médio. Resistente à antracnose e aos danos mecânicos e com maior período de conservação pós-colheita. Precoce, amadurece bem se colhido imaturo, apresenta teor de sólidos solúveis em torno de 17 °brix e sabor inferior quando comparado a Palmer e a Haden. Apresenta suscetibilidade ao colapso interno do fruto, alta suscetibilidade ao oídio e malformação floral (LIMA NETO et al., 2010; QUEROZ PINTO et al., 2002). É uma das variedades de mangueira

mais cultivada mundialmente para exportação. Essa variedade representa 80% e 50% das exportações de manga do Brasil e do México, respectivamente (QUEIROZ PINTO et al., 2002).

É uma variedade monoembriônica, responde bem ao processo de indução floral, apresenta elevada produtividade e regularidade na produção. Atualmente, é a mais cultivada nas propriedades localizadas no Vale do São Francisco e ocupa aproximadamente 95% da área total dos pomares destinados à cultura; predominância que já constatada há alguns anos (LIMA NETO et al., 2010).

Esta cultivar forma uma árvore vigorosa, de porte médio, com a copa e folhagem muito densa e arredondada, folhas um pouco onduladas e de forma oval-lanceolada. Apresenta boas características, tais como: alta produtividade, regularidade de produção, coloração atraente do fruto e boa resistência ao transporte (MANICA et al., 2001).

O fruto da ‘Tommy Atkins’ é de formato oval a oblongo, com a ponta larga e arredondada, enquanto a inserção do pedúnculo é levemente saliente. Tem tamanho de médio a grande, com comprimento de 9,0 a 13,2 cm, o diâmetro maior é de 8,23 a 10,25 cm, o seu diâmetro menor de 8,03 a 9,14 cm, com a média de peso entre 444,1 a 713,7 g, de cor amarela média a escura, de textura firme, consistente, com fibras finas, curtas, abundantes e suculentas. A casca é grossa, com bastante cerosidade e a superfície é lisa e resistente a danos mecânico, muito aderente à polpa, com coloração básica amarela, arroxeadá púrpura quando de vez e amarelada-vermelha-brilhante ou vermelha-amarela quando madura, com laivos vermelhos e numerosas lenticelas amarelas, esparsas e bem visíveis (MANICA et al., 2001). A polpa é de cor amarela escura, textura firme devido à presença de fibras finas e abundantes, sujeita ao amolecimento interno de origem fisiológica. A consistência da polpa no teste de pressão (libras/3/16”) é de 13, peso específico real de  $0,99 \text{ g cm}^{-3}$  e o peso específico aparente de  $0,53 \text{ g cm}^{-3}$ . A polpa com 86,5% do peso do fruto, os açúcares redutores com 4,08%, os açúcares totais com 12,37%, teor de sólidos solúveis de 15,6 a 16,24 °Brix, acidez de 0,38 a 0,48%, pH de 4,29 a 4,60, a vitamina C é de  $42 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  de polpa, 0,82% de fibras, com 1,24% de pectina.

Os frutos têm grande aceitação para o consumo ao natural no mercado brasileiro, para exportação e como matéria prima para a indústria. Tem longa duração após colheita, o que se torna um fator muito importante e positivo durante a comercialização dos frutos. A casca com 11,45%, e a semente (amêndoa) é pequena, 6,0% a 8,7% do fruto e forma plantas monoembriônicas (MANICA et al., 2001).

#### **2.4. Profundidade efetiva e distribuição das raízes**

Os padrões de distribuição do sistema radicular da mangueira e de qualquer outra cultura são consequências da interação entre fatores genéticos inerentes à cultura e da disponibilidade de água e de nutrientes no solo.

O sistema radicular da mangueira é caracterizado por uma raiz pivotante, que pode se aprofundar bastante no solo, o que permite uma boa sustentação da planta e sua sobrevivência em períodos de seca. Outras raízes verticais originam-se de raízes da superfície, as quais, a exemplo da pivotante, apresentam radículas, principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes da solução do solo (CUNHA et al., 2002).

Para Coelho et al. (2002), a distribuição de raiz da mangueira tem sido mais estudada em condições não irrigadas que irrigadas e, de uma certa forma, tem havido uma concordância entre os autores quanto à definição dos padrões de distribuição de raízes da cultura.

Santos (1997) ressalta que 86,5% do comprimento total de raízes encontram-se até a distância radial de 1,75 m do caule da planta com maior concentração na camada superficial (0,25 m de profundidade). Verificou-se, ainda, que até 0,75 m de profundidade encontram-se 70% do total das raízes da mangueira variedade Haden. O mesmo autor relata que 68% das raízes de absorção e 86% das raízes de sustentação estão localizadas na faixa horizontal de 0,90 a 2,60 m em relação ao caule e na profundidade de 0 a 1,00 m, em estudo realizado por Choudhury e Soares (1992) na cultura da mangueira 'Tommy Atkins', irrigada por aspersão sobcopia em Latossolo na fazenda Fruitfort, Petrolina-PE.

Coelho et al. (2001) avaliaram a distribuição de raízes de mangueiras 'Tommy Atkins' sob irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) em solo arenoso de tabuleiros costeiros. De forma geral, no gotejamento, as raízes da planta atingiram 3,50 m do caule na horizontal e 1,40 m de profundidade e, na microaspersão, atingiram 3,00 m do caule e também a profundidade de 1,40 m.

Simões et al. (2005) conduziram pesquisa com objetivo de avaliar a absorção de água pelas raízes e a distribuição de água no perfil do solo em um sistema de irrigação por microaspersão na cultura da mangueira 'Tommy Atkins', localizada em Iaçú, BA. Os autores observaram que a extração de água pelo sistema radicular da mangueira ocorreu predominantemente na região molhada, delimitada pela profundidade de 0,75 m e distância radial

do caule de 1,50 m, com maior extração localizada à distância radial do caule de 1,00 m e à profundidade de 0,75 m.

## **2.5. Trocas gasosas**

A transpiração, a condutância estomática e a fotossíntese influenciam o crescimento, o desenvolvimento e a produção das culturas. Estes parâmetros estão relacionados às condições hídricas da planta que podem ser uma resposta ao estado hídrico do solo e às condições de clima.

A transpiração e a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> podem ser usadas como parâmetros para o estudo das relações hídricas da mangueira, haja vista que a transpiração é um bom indicador da disponibilidade de água na planta (SCHAFFER et al., 1994). Em uma situação de boa disponibilidade de água, as plantas cultivadas geralmente apresentam altas taxas de transpiração (SALISBURY e ROSS, 1992).

À medida que a água do solo se torna escassa, a planta começa a reduzir sua taxa transpiratória, o que ocasiona a diminuição da perda de água pelas folhas e economia da água disponível no solo. A quantificação da transpiração de fruteiras em campo é difícil e depende de muitos fatores, como a disponibilidade hídrica, as condições de demanda atmosférica e fatores ligados à própria planta, como área foliar, geometria de copa e de plantio, que afetam a capacidade de interceptação da radiação solar e a interação com o vento (ANGELOCCI, 1996).

A fotossíntese é um importante processo biológico que converte a energia provinda do sol em energia química de compostos orgânicos. O déficit hídrico é um dos fatores que influencia no processo fotossintético e este na produção vegetal. Quando a água é um fator limitante, de imediato, retarda-se a expansão celular, então, o crescimento diminui. Se aumentar um pouco mais o estresse hídrico, os estômatos se fecham e inibem a captura de CO<sub>2</sub> (ROCHA e MORAES 1997). Jones (1985) ressalta que o déficit hídrico pode reduzir a fotossíntese pela redução na área foliar disponível para interceptar a radiação solar, pela redução da difusão de CO<sub>2</sub> dentro da folha e pela redução da habilidade dos cloroplastos para fixar CO<sub>2</sub> que neles penetra.

A temperatura tem sido frequentemente apontada como influenciadora das trocas gasosas das plantas (CLARK, 2004). De maneira geral, a temperatura pode afetar o processo fotossintético diretamente e indiretamente. Diretamente, na atividade enzimática no processo fotossintético e na cadeia transportadora de elétrons e, indiretamente, quando ocorre diferença

entre o déficit de pressão de vapor da folha e do ar, influenciando no comportamento estomático. Segundo Berry e Björkman (1980) apud Ribeiro (2002), os danos devido a elevadas temperaturas são decorrentes da inativação das reações nas membranas dos tilacóides, devido à maior fluidez dos lipídios da membrana (TAIZ e ZEIGER, 2009) e das enzimas envolvidas no metabolismo fotossintético.

O controle estomático é importante mecanismo fisiológico pelo qual as plantas limitam a perda de água e, geralmente, reduzem as trocas gasosas como resposta aos diversos fatores, incluindo o estresse hídrico. De acordo com Gholz et al. (1990), a pouca disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas por promover o fechamento estomático e, conseqüentemente, a produção de fitomassa. O fechamento estomático é frequentemente utilizado como indicador da deficiência hídrica (Mc DERMID, 1990).

## **2.6. Relações hídricas na mangueira em regiões tropicais**

A mangueira necessita de maior frequência de irrigação na fase de planta jovem e de grande quantidade de água na fase de planta adulta, em pleno surto de crescimento vegetativo. Por outro lado, de menor quantidade de água disponível no período de repouso vegetativo para estimular um intenso florescimento e também de pouca água no auge do florescimento. Essa menor quantidade de água disponível no auge do florescimento evita os prejuízos que podem ser causados pelas doenças, evita prejudicar as atividades dos insetos polinizadores, não causar injúrias nos estigmas e aumenta o vingamento de frutos (MANICA et al., 2001). Os mesmos autores ressaltam que um período de seca, cerca de dois a quatro meses antes do florescimento normal da mangueira, é muito favorável para estimular e provocar um intenso florescimento. Sendo assim, não é necessário e nem conveniente fazer a irrigação desta área, mesmo quando o solo apresentar baixo nível de água disponível para as plantas.

A água disponível no solo tem grande influência na diferenciação das gemas vegetativas e das florais nos períodos de inverno. Sem uma época seca bem definida, aparecem poucos botões florais, porque a água disponível no solo estimula principalmente o crescimento vegetativo em lugar da produção de flores. Em regiões muito chuvosas, a planta tem desenvolvimento vegetativo prolongado, à custa da frutificação (SIMÃO, 1971), pois em plantas lenhosas como a

mangueira, há um antagonismo entre vigor vegetativo e intensidade da floração e, conseqüentemente, a produção de frutos (AVILAN e ALVAREZ, 1990).

O estresse hídrico consiste na redução gradual da quantidade de água da irrigação. Esta prática permite uma maturação mais rápida e mais uniforme dos ramos. Assim, a água não deve ser suspensa totalmente, já que a planta necessita continuar fotossintetizando e acumulando reserva sem vegetar (ALBUQUERQUE et al., 1999).

Castro Neto (1995 e 2003) contradiz Albuquerque et al. (1999) ao se referir ao uso do estresse hídrico. Em relação ao efeito do estresse hídrico como promotor da indução floral, Castro Neto (1995) tem discutido que a aplicação do estresse hídrico não tem sido realizada de maneira correta, uma vez que o solo fica com bastante água ainda disponível para o crescimento vegetativo, o que constitui num dos principais problemas. Castro Neto (2003) sugere que o estresse por suspensão da irrigação seja aplicado da maneira mais rápida possível. Para isso, o solo deve apresentar boa drenagem ou um dreno-trincheira eficiente para a remoção da água de irrigação da área radicular da mangueira. Deve-se também evitar o excesso de água na irrigação para não provocar um efeito contrário para a planta.

Em condição tropical, o estímulo à indução floral inicia-se em folhas maduras, sendo que as folhas imaturas apresentam grandes quantidades de inibidores florais (CHEN, 1987). Na mangueira, a baixa concentração de estímulo floral em cada folha é, provavelmente, parcialmente compensada pelo aumento proporcional de folhas maduras. Sob condição de estresse hídrico, a desidratação do meristema apical pode tornar-se mais sensível a baixos níveis de estímulo floral. Enfim, o aumento da sensibilidade para a indução floral, em soma ao aumento da área foliar madura, pode compensar a falta de temperaturas mais baixas, ideais para a indução nas regiões tropicais (SCHAFFER et al., 1994).

Bally et al. (2000) estudaram o estresse hídrico em mangueiras da variedade Kensington Pride com 15 anos de idade, nas seguintes condições: irrigação sem estresse hídrico durante o ano; sem irrigação desde a maturação do primeiro fluxo vegetativo até a fase com 90% das gemas anatomicamente florais; e sem irrigação desde a maturação do primeiro fluxo vegetativo até a fase com 70% de inflorescências emergidas. Os autores concluíram que, nos tratamentos com déficit, houve aumento de 20,5% no número de panículas terminais e de 17% na produção, em dois dos três anos avaliados.

Fonseca et al. (2005) observaram o efeito do Paclobutrazol (PBZ) e do estresse hídrico no florescimento em mangueiras ‘Tommy Atkins’. Verificaram que a imposição do estresse hídrico às plantas pode substituir a aplicação do PBZ e obtiveram taxas de florescimento e produção de frutos similares.

O estresse hídrico tem como impacto primário evitar a emissão de fluxos vegetativos na mangueira. Sua utilização na indução floral diminui a síntese de giberelinas, considerado um promotor de crescimento. Também o fato do estresse hídrico apressar a maturação de ramos (gemas) vincula-o diretamente à produção de etileno, que é o hormônio responsável pela maturação dos órgãos da planta.

## **2.7. Época de irrigação e estratégia de manejo de irrigação**

Trabalhos de pesquisas têm mostrado que a irrigação na cultura da mangueira não é necessária durante a diferenciação do broto floral, mas deve iniciar-se logo a seguir, na fase de emergência da panícula (COELHO e COELHO FILHO, 2007). Os mesmos autores ressaltam que o período mais crítico de demanda hídrica da mangueira é de quatro a seis semanas após o estabelecimento dos frutos.

Estratégias de manejo de irrigação, no que diz respeito ao uso racional de água, têm sido adotadas em algumas regiões, até mesmo onde a água não é fator limitante para uso nas culturas irrigadas. Neste âmbito, podemos destacar as técnicas de irrigação denominadas de irrigação com déficit controlado – RDI (Regulated Deficit Irrigation) e irrigação lateralmente alternada – PRD (Partial Rootzone Drying).

A RDI é um manejo de irrigação utilizado em fruteiras e outras culturas, que consiste na aplicação da irrigação com déficits em estádios de desenvolvimento da planta cujo crescimento e qualidade do fruto têm baixa sensibilidade ao estresse hídrico. Ou seja, é possível a redução do consumo de água e energia sem grandes prejuízos na qualidade do fruto e na produtividade do pomar (PAÇO, 2003). Por outro lado, o manejo de irrigação, baseado na PRD, consiste na alternância do lado da planta a ser irrigado, durante 10 a 14 dias, principalmente, entre as fases fenológicas de pegamento do fruto e colheita.

O uso dessas estratégias ocasiona, parcialmente, déficit hídrico no solo e este déficit induz à produção de hormônio ácido abscísico (ABA) pelas raízes que se transloca pelo eixo vascular,

concentrando-se na parte aérea. Este hormônio promove o fechamento parcial dos estômatos, o controle do crescimento vegetativo e, conseqüentemente, redução das perdas de água para atmosfera. Sob condições de baixos potenciais de água, quando os níveis de ABA estão altos, o efeito geral é um aumento da razão raiz / parte aérea (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Ao optar por estas estratégias, o produtor deverá analisar a questão referente aos custos. A PRD apresenta a inconveniência de mudança na linha lateral, o que pode ocorrer danos ao sistema além de aumento no custo de implantação. E, se optar para redução da mão-de-obra, usará praticamente o dobro de emissores e linhas laterais. Enquanto na RDI não há necessidade do dobro de linhas laterais, uma vez que reduzirá a quantidade de água a ser aplicada através do tempo de aplicação.

Os trabalhos de pesquisas com o uso da RDI mostram resultados muito interessantes, desde a economia de água e de energia à melhoria na qualidade de frutos e ao aumento da produtividade.

Cotrim (2009), ao trabalhar com RDI em mangueira ‘Tommy Atkins’, não encontrou diferenças significativas a 5% de probabilidade na produtividade, peso médio dos frutos, número de frutos por planta e eficiência de uso da água na mangueira entre os tratamentos de 100, 80, 60 e 40% da ETc, tanto sob microaspersão quanto sob gotejamento nos anos de 2006 e 2007 no semiárido baiano.

Silva et al. (2009) pesquisaram a mangueira ‘Tommy Atkins’ na região de Petrolina, PE, e observaram que a evapotranspiração e a eficiência de uso da água foram influenciadas pelo teor de água no solo. As produtividades nos tratamentos com 70%, 80% e 90% da ETo foram significativamente maiores, a 5% de probabilidade, que a produtividade do tratamento controle (100% da ETo). A maior produtividade foi obtida no tratamento de irrigação com 90% da ETo e a menor no tratamento com 100% da ETo. Os autores concluíram que a eficiência no uso da água, na região estudada, pode ser melhorada ao se programar a irrigação com 90% de ETo.

Coelho Filho e Coelho (2005), com o uso da técnica RDI, em plantas de mangueira ‘Tommy Atkins’, não encontraram diferenças estatísticas entre os tratamentos para produtividade, número de frutos por planta e peso médio dos frutos, o que evidencia a possibilidade de diminuição do uso da água na prática da irrigação em condições semiáridas, sem perdas significativas de produtividade. O trabalho constituiu na aplicação de déficits hídricos em três fases de crescimento do fruto e utilizou como tratamentos 50%, 70% e 85% da

evapotranspiração da cultura (ETc). Os tratamentos foram compostos de uma fase com déficit e duas sem déficits, perfazendo um total de nove, e, utilizando irrigação total em todas as fases como testemunha.

Quando se busca o uso racional da água, o método de irrigação mais indicado para o produtor de manga é localizada. Para Coelho et al. (2007), a microaspersão tem sido o sistema de irrigação localizada mais utilizado, pois promove uma área molhada aparente na superfície do solo superior à gerada pelo sistema de gotejamento.

## **2.8. Evapotranspiração da cultura**

A evapotranspiração da cultura (ETc) corresponde ao consumo de água das plantas cultivadas num determinado período. A ETc depende da planta, do solo e do clima, sendo este último fator predominante sobre os demais, de modo que a quantidade de água requerida por uma cultura varia com a extensão da área coberta pelo vegetal e com os meses do ano.

### **2.8.1. Evapotranspiração de plantas isoladas**

Quando se trabalha com culturas que cobrem de forma descontínua a superfície do solo, as plantas podem ser tratadas de forma individualizadas (PEREIRA et al., 1997). Neste caso, a irrigação utiliza métodos de fornecimento de água localizado e, assim, o conhecimento e a quantificação da transpiração de cada árvore são fundamentais porque corresponderão ao consumo mínimo da árvore. A medição direta da transpiração é difícil em qualquer condição, portanto, em termos operacionais em condições de campo, a alternativa mais viável ainda é a estimativa da transpiração por meio de modelos empíricos. Em pomares de macieiras, destaca-se o modelo de Penman-Monteith para tais estimativas (ANGELOCCI, 1996; THORPE, 1978).

A taxa de transpiração de uma árvore depende da conjugação de uma série de fatores biológicos e ambientais. Entre os fatores biológicos encontram-se a área foliar, a geometria da árvore e do plantio, que são os determinantes da interceptação da radiação solar e da obstrução ao vento. Os fatores ambientais são o poder evaporante do ar e a disponibilidade de energia e água.

Uma das adaptações necessárias para aplicação da equação de Penman-Monteith em cultivos esparsos é no termo radiativo, visto que as plantas interagem diferentemente com a radiação. O saldo de radiação é determinado pelo total de radiação interceptada pela copa da árvore. A planta isolada é mais exposta, tanto a radiação solar direta como a difusa. O saldo de radiação medido acima das árvores ( $R_n$ ) não é representativo do saldo de radiação da árvore como um todo ( $R_{nf}$ ). Enquanto  $R_n$  é expresso em energia por unidade de área do terreno,  $R_{nf}$  é expresso em energia por unidade de área foliar. Portanto, a variável mais adequada para estimativa da transpiração é  $R_{nf}$  ( $W\ m^{-2}$  de área foliar). Para estimar a transpiração total da árvore é necessário que seja posteriormente corrigida pela área foliar total.

Para videira com índice de área foliar igual a 1, Riou et al. (1989) apud Pereira et al, (1997) propuseram a seguinte equação:

$$\frac{R_{nf}}{R_n} = \frac{R_{ga}}{R_g(1-r)} \quad (1)$$

em que,

$R_{nf}$  = radiação interceptada pela copa da árvore ( $W\ m^{-2}$ );

$R_n$  = saldo de radiação medido acima das árvores ( $W\ m^{-2}$ );

$R_{ga}$  = radiação solar absorvida (interceptada) pela copa ( $W\ m^{-2}$ );

$R_g$  = radiação solar incidente ( $W\ m^{-2}$ ); e

$r$  = albedo do pomar.

A resistência aerodinâmica ( $r_a$ ) ao transporte de momento entre a vegetação e um nível acima dela é normalmente calculada em função do perfil vertical da velocidade do vento. No caso de vegetação esparsa ou de uma árvore isolada, a aplicação deste princípio fica prejudicada visto que é difícil caracterizar o comprimento de rugosidade e o deslocamento do plano zero do perfil logarítmico de Prandtl, pela dificuldade de desenvolvimento de uma camada limite característica nessa situação. Plantas isoladas estão sempre mais expostas ao vento que uma vegetação contínua. Nessa situação, sempre uma percentagem das folhas é mais atingida que outras. Pereira et al. (1997) relata que em trabalhos com plantas isoladas em túnel de vento, Landsberg e Powell (1973) concluíram que a resistência aerodinâmica global pode ser estimada pela equação empírica:

$$r_a = 58 p^{0.56} \left( \frac{d}{u} \right)^{0.5} \quad (2)$$

em que,

$p$  = medida da densidade foliar “vista” pelo vento (normalmente dada pela razão entre a área foliar total da árvore e a área foliar da folhagem projetada num plano vertical);

$d$  = dimensão característica das folhas (largura ou comprimento) (m); e

$u$  = velocidade média tomada a altura média da copa ( $\text{m s}^{-1}$ )

Angelocci (1996) mostra que, para macieiras com área foliar ( $A_f$ ) variando desde 3 a 20  $\text{m}^2$ , o valor de  $p$  corresponde a aproximadamente 20% da área foliar.

A condutância da folhagem –  $g_f$  ( $\text{mm s}^{-1}$ ) é determinada conforme Thorpe et al. (1980) apud Pereira et al. (1997) pela equação:

$$g_f = g_r \left( \frac{1 - \alpha Da}{1 + \beta / \text{RFAf}} \right) \quad (3)$$

em que,

$g_r$  = condutância de referência ( $\text{mm s}^{-1}$ );

$Da$  = déficit de saturação do ar (kPa);

$\text{RFAf}$  = radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela árvore ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );

$\alpha$  e  $\beta$  = coeficientes de ajustes.

Thorpe et al. (1980), Green et al. (1995) apud Pereira et al. (1997) e Angelocci (1996) adotaram  $g_r = 10 \text{ mm s}^{-1}$ ,  $\alpha$  entre 0,2 e 0,3  $\text{kPa}^{-1}$  e  $\beta$  entre 59 e 79  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  como melhores valores para estimativa da evapotranspiração de macieira.

A radiação fotossinteticamente ativa ( $\text{RFAf}$ ) pode ser estimada pela seguinte relação

$$\text{RFAf} = 2,32 R_{ga} \frac{A_f}{A_t} \quad (4)$$

em que,

$A_t$  = área média da projeção da copa sobre o terreno e

$A_f$  = área total das folhas de cada árvore

Para estimativa da transpiração, a equação de Penman-Monteith tem a seguinte expressão:

$$\lambda E = A_f \frac{\Delta R_{nf} + 2\rho a C_p \frac{Da}{r_a}}{\Delta + \gamma \left( J + \frac{r_s}{r_a} \right) \eta} \quad (5)$$

em que,

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$\rho_a$  = densidade média do ar a pressão constante ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$C_p$  = calor específico do ar ( $\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ );

$\eta$  = razão entre as resistências aerodinâmicas ao transporte de calor latente e calor sensível, sendo que alguns autores adotam  $\eta = 0,93$  ou  $1,00$ ; e

$J = 1$  para espécies anfiestomáticas e igual a  $2$  para hipoestomáticas.

### **2.8.2. Evapotranspiração da cultura por Penman-Monteith Padrão FAO 56.**

A determinação da  $E_{To}$  é o primeiro passo para o cálculo da evapotranspiração da cultura. A  $E_{To}$  padrão é obtida pela equação de Penman-Monteith, parametrizada pela FAO. Para tal, faz-se necessária a medição com uso de estações meteorológicas automáticas dos seguintes dados climáticos: temperatura (máxima, média e mínima), umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento. Vale ressaltar que as variáveis climáticas que mais influenciam na determinação da  $E_{To}$  são a radiação solar e a velocidade do vento. Neste caso, a equação de Penman-Monteith é a recomendada para determinação da  $E_{To}$  em qualquer condição edafoclimática.

#### **2.8.2.1. Coeficiente de cultura ( $K_c$ )**

O coeficiente de cultivo  $K_c$  relaciona a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) à evapotranspiração máxima da cultura ( $E_{Tm}$ ) quando o suprimento de água atende plenamente às necessidades hídricas da mesma (DOORENBOS e KASSAM 1979). Os valores de  $K_c$  variam com as características da cultura, data de plantio, com o seu estágio de desenvolvimento, condições climáticas e, principalmente, durante a primeira fase de crescimento, com frequência de chuvas ou irrigações. Para a maioria das culturas, o  $K_c$  aumenta a partir de um pequeno valor no momento da emergência até um máximo durante o período em que é alcançado o seu pleno desenvolvimento e diminui à medida em que os frutos amadurecem.

Quando a cultura desenvolve, ocorre mudança na cobertura do solo, altura da cultura e na área foliar. Estas mudanças são apresentadas como estádios de desenvolvimento da mesma. Devido às diferenças na evapotranspiração durante os estádios de desenvolvimento, o  $K_c$  para uma determinada cultura será diferente para cada um destes estádios.

Os boletins da FAO não apresentam valores de Kc para a cultura da mangueira. Doorenbos e Pruitt (1997) apresentaram valores de coeficientes de cultura amplamente utilizados para várias culturas, quando não for possível a sua determinação experimental, mas enfatizaram a grande necessidade de calibração desses valores em outras condições climáticas.

Trabalhos de pesquisas foram desenvolvidos aqui no Brasil, principalmente, em regiões semiáridas. Estes disponibilizaram ao produtor a opção mais adequada para o manejo da irrigação nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura. Simão et al. (2004) estabeleceram valores de Kc nas duas fases de desenvolvimento da cultura da mangueira cultivada na região Norte de Minas Gerais e a evolução do Kc durante o crescimento vegetativo em três ciclos produtivos. Para isto, empregaram a indução floral com uso de paclobutrazol (PBZ) e nitratos (NO<sub>3</sub>), conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores sugeridos de Kc para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da mangueira cultivada na região Norte de Minas Gerais

Fase	Estádios de desenvolvimento	Duração (dias)	Kc
Crescimento vegetativo	0 – 6 meses	180	0,30
	7 – 12 meses	180	0,35
	13 – 18 meses	180	0,40
	19 – 24 meses	180	0,45
	25 – 36 meses	360	0,55
Produção	Indução floral – PBZ	90 -120	0,75 – 0,85
	Indução floral – NO <sub>3</sub>	15	0,20 – 0,30
	Floração + frutificação	105	0,80 – 0,90
	Colheita + preparo p/ próxima safra	45	0,50 – 0,60
	Desenvolvimento dos ramos	70 – 90	0,60 – 0,70
	Indução floral – PBZ	90 – 120	0,75 – 0,85

A primeira fase, denominada de crescimento vegetativo, é formada por cinco estádios, definidos pelo número de dias após o plantio na qual está implícito o desenvolvimento da cultura com consequente aumento da área foliar e da cobertura do solo.

Na segunda fase, denominada de produção, além do desenvolvimento fisiológico como floração, frutificação e colheita, são considerados na definição dos estádios o período de indução floral da cultura e o preparo da cultura para uma nova safra.

Silva et al. (2001) empregaram o método do balanço hídrico no solo na determinação da Evapotranspiração da Cultura (ETc) de um pomar de mangueira cultivar Tommy Atkins, espaçado em 8,0 m x 5,0 m, com seis anos de idade, na fase produtiva, em Petrolina, PE. Os

autores encontraram a equação [ $K_c = 0,36 + 0,009 \text{ DAF} - 4 \times 10^{-5} \text{ DAF}^2$ ], com  $r^2 = 0,79$ , que permite a estimativa do coeficiente da cultura conhecendo-se o DAF (dias após a floração).

Para determinação da  $ET_c$ , consideram-se a evapotranspiração de referência, os coeficientes de cultura e de localização, como descrito na Equação 6.

$$ET_c = ET_o K_c K_l \quad (6)$$

em que,

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$ET_o$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$K_c$  = coeficiente de cultura (adimensional); e

$K_l$  = coeficiente de localização (adimensional).

### 2.8.3. Balanço de água no solo

O conhecimento detalhado da dinâmica da água durante o desenvolvimento de uma cultura fornece elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visam à otimização da produtividade (CRUZ et al., 2005). Para estudar o ciclo da água de uma cultura de maneira geral, Reichardt e Timm (2004) ressalta que é necessário considerar o balanço hídrico, que é o somatório das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume de solo e um dado intervalo de tempo. O autor complementa que, do ponto de vista agrônomo, o balanço hídrico é de fundamental importância, pois ele define as condições sob as quais uma cultura se desenvolveu.

A equação do balanço de água no solo pode ser escrita como:

$$P_e + I - D + AC - ET_c \pm R = \pm Dh_z \quad (7)$$

em que,

$P_e$  = precipitação (mm);

$I$  = irrigação (mm);

$D$  = drenagem interna (mm);

$AC$  = ascensão capilar (mm);

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura (mm);

$R$  = escoamento superficial (mm); e

$Dh_z$  = variação da armazenagem (mm) desde a superfície do solo até à profundidade  $z$ .

Em trabalho com o uso do método do balanço hídrico do solo para estimativa da evapotranspiração da cultura da mangueira ‘Tommy Atkins’, Silva et al. (2001) concluíram que o método mostrou-se eficiente nas condições de clima e solo do Projeto Irrigado de Bebedouro, em Petrolina, PE. Encontraram valores de  $ET_c$  mínimos no início e ao final do ciclo de produção da mangueira e maiores no período de formação de frutos. Os autores complementam que o método do balanço hídrico do solo não deve ser aplicado para períodos inferiores a uma semana, nas condições de solo e clima da área estudada. Ainda Silva et al. (2001) explicam que, para períodos inferiores, as medições tensiométricas podem não refletir efetivamente o volume de água armazenado no solo, devido ao tempo necessário para a cápsula porosa do instrumento entrar em equilíbrio com o solo (tempo de resposta do instrumento) e, ainda, pelo fato dos tensiômetros não acusarem variações de umidade em solos acima da capacidade de campo, situação frequente na camada superficial de solo, logo após a irrigação.

## **2.9. Produtividade da cultura em diferentes regimes de irrigação**

De acordo com estudos realizados pela Embrapa Semiárido, na caracterização do sistema de produção da mangueira na região do Submédio São Francisco, a produtividade média é de 25 toneladas por hectare, dos seis aos vinte anos de cultivo (ARAUJO, 2004).

Oliveira et al. (2002) trabalharam com diferentes regimes de irrigação (sem irrigação, 0,44, 0,55, 0,86, 1,00 e 1,37  $ET_o$  na cultura da mangueira ‘Tommy Atkins’ com quatro anos de idade. Os autores verificaram diferenças significativas, a 1% de probabilidade, para os diferentes regimes hídricos, ou seja, a produtividade foi influenciada pelo regime de irrigação. O ponto de máxima produtividade ocorreu no maior regime hídrico de irrigação (1,37  $ET_o$  = 601,05 mm de irrigação) o que correspondeu a uma produtividade máxima de 13,9 e 12,6 t ha<sup>-1</sup> para a total e comercial, respectivamente. Este regime, considerado ótimo, proporcionou aumento de 120,14% na produtividade comercial em relação à condição sem irrigação e os regimes 44, 55, 86 e 100% da  $ET_o$  superaram a condição sem irrigação, em 68,28; 91,12; 97,16 e 84,90%, respectivamente.

Os benefícios da irrigação na cultura da mangueira são ressaltados por Castro Neto et al. (2000), os quais relatam que o efeito potencial da irrigação contribui para os dois pontos mais importantes de uma economia globalizada: o aumento de produtividade e a melhoria da qualidade

da fruta. Os mesmos autores comentam que os aumentos de produtividade da mangueira, decorrentes do uso de tecnologias, incluindo a irrigação, mesmo sem monitoramento técnico adequado, podem ser vistos quando se compara a produtividade média da mangueira sob regime de sequeiro ( $12 \text{ t ha}^{-1}$ ) àquela de áreas irrigadas, cuja média situa-se em torno de  $30 \text{ t ha}^{-1}$ .

Ao avaliar a produtividade da mangueira ‘Tommy Atkins’ sob RDI no semiárido baiano, Coelho Filho e Coelho (2005) encontraram produtividades de  $15,20 \text{ t ha}^{-1}$  nas plantas irrigadas com 100% da ETc desde o pegamento do fruto à colheita e  $11,90 \text{ t ha}^{-1}$  no tratamento com RDI a 50% da ETc na fase de pegamento dos frutos e 100% da ETc do início da expansão dos frutos à colheita. Quando a RDI a 50% da ETc foi aplicada na fase de maturação fisiológica, a produtividade foi de  $12,30 \text{ t ha}^{-1}$ . Essas produtividades foram similares estatisticamente entre os tratamentos avaliados.

Na ‘Tommy Atkins’ espaçada  $10,00 \text{ m} \times 5,00 \text{ m}$  com 12 anos de idade, Silva et al. (2009) encontraram produtividades de 29,49; 29,97; 31,06 e 28,06 para os tratamentos com 70, 80, 90 e 100% da ETo, respectivamente, para a região de Petrolina, PE. A maior e a menor produtividade do ponto de vista estatístico foi registrada à 90% e à 100% da ETo, respectivamente.

Spreer et al. (2009), em três anos de avaliação com diferentes regimes de irrigação na mangueira ‘Chok Anan’, encontraram produtividades médias de 14,70; 14,78 e 12,56 para os tratamentos com 100% da ETc, 50% da ETc e sem irrigação, respectivamente.

### **2.9.1. Influência do estresse hídrico na produção**

A mangueira requer uma quantidade anual de água que dependerá da evapotranspiração local e pode atingir valores de  $1.197$  a  $1.368 \text{ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Pode-se, a princípio, basear-se numa demanda no inverno de  $2,2 \text{ mm d}^{-1}$  e  $4,4 \text{ mm d}^{-1}$  no verão (SIMÃO et al., 2004). É uma cultura que pode resistir à deficiência de água no solo por um período de até oito meses. A mangueira necessita de água durante a floração, todavia essa necessidade não chega a ser crítica. Trabalhos de pesquisa têm mostrado que a irrigação não é desejável durante a diferenciação do broto floral e deve iniciar-se somente na emergência da panícula, após a diferenciação floral.

O déficit hídrico do solo retarda o crescimento das gemas vegetativas e concorre para o crescimento das gemas florais. O período mais crítico para a irrigação da mangueira é de quatro a seis semanas após o estabelecimento dos frutos (COELHO et al., 2000).

Tapia e Vega (1994) apud Simão et al. (2004) afirmam que resultados experimentais permitem sugerir que a mangueira requer ao menos 15 dias de estresse hídrico, aplicação de fertilizantes no solo e aplicações foliares de nitratos para produzir brotos florais. Já o estresse hídrico excessivo pode resultar em malformações florais e enfermidades que podem reduzir a produção. Desta forma, a falta de uma programação definida na aplicação do estresse hídrico na mangueira pode levar a uma interrupção no crescimento vegetativo e, conseqüentemente, a uma redução na produtividade.

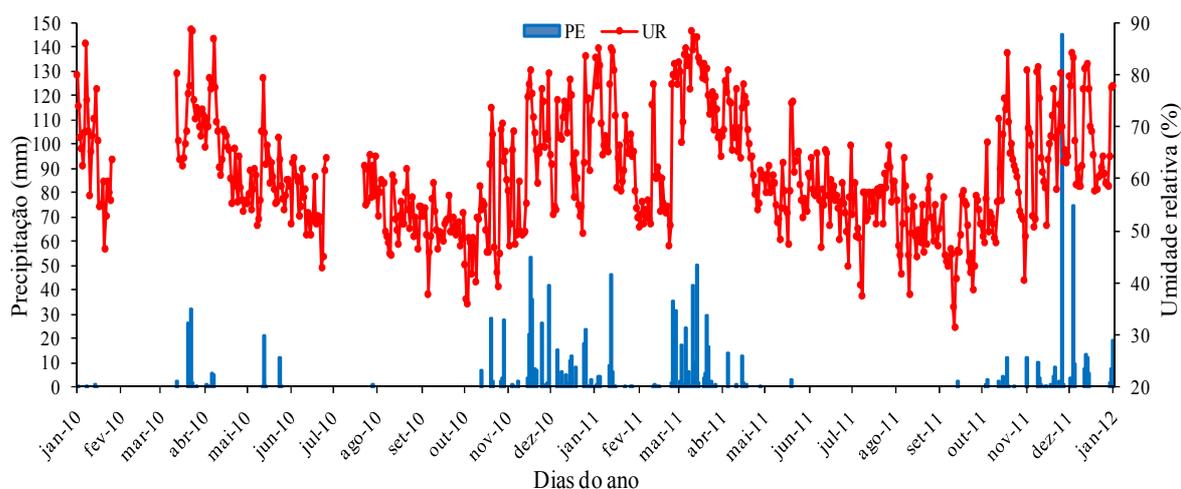
No caso da mangueira cultivada nas condições de clima tropical, a imposição do estresse hídrico tem sido considerada efetiva na indução floral. Nestas condições, a aplicação de água, por meio da irrigação, representa uma alternativa que pode ser utilizada tanto para garantir o desenvolvimento da cultura como para estabelecer as condições fisiológicas de estresse hídrico adequadas para indução floral. Neste aspecto, o manejo do suprimento de água, realizado por meio da irrigação, passa a ter um papel importante no controle da época de produção da cultura com benefícios diretos na rentabilidade do produtor (SIMÃO et al., 2004).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

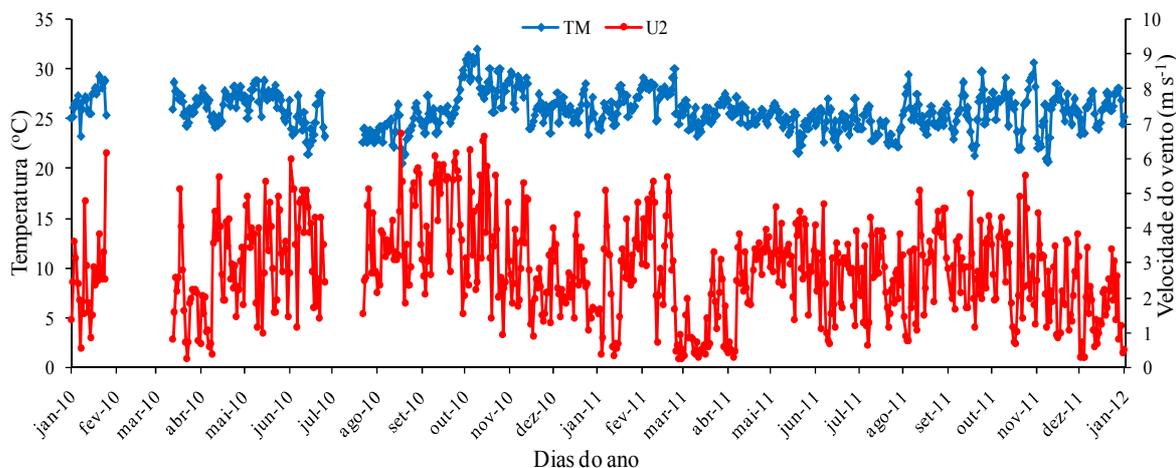
#### 3.1. Descrição das condições experimentais

O trabalho foi desenvolvido em uma área experimental da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF), localizada no Perímetro Irrigado de Ceraíma no Município de Guanambi, Sudoeste da Bahia. A referida região apresenta latitude de 14°17'27" S, longitude de 42°46'53" W, altitude de 537 m. A precipitação média anual é de 680 mm e a temperatura média anual de 25,6 °C. O solo da área experimental é classificado como Neossolo Flúvico eutrófico, de textura média com argila de alta atividade.

Na Figura 1, são apresentados os valores diários de precipitação e de umidade relativa média e, na Figura 2, os valores diários médios de temperatura e de velocidade do vento para a localidade, nos dois anos de condução do experimento.



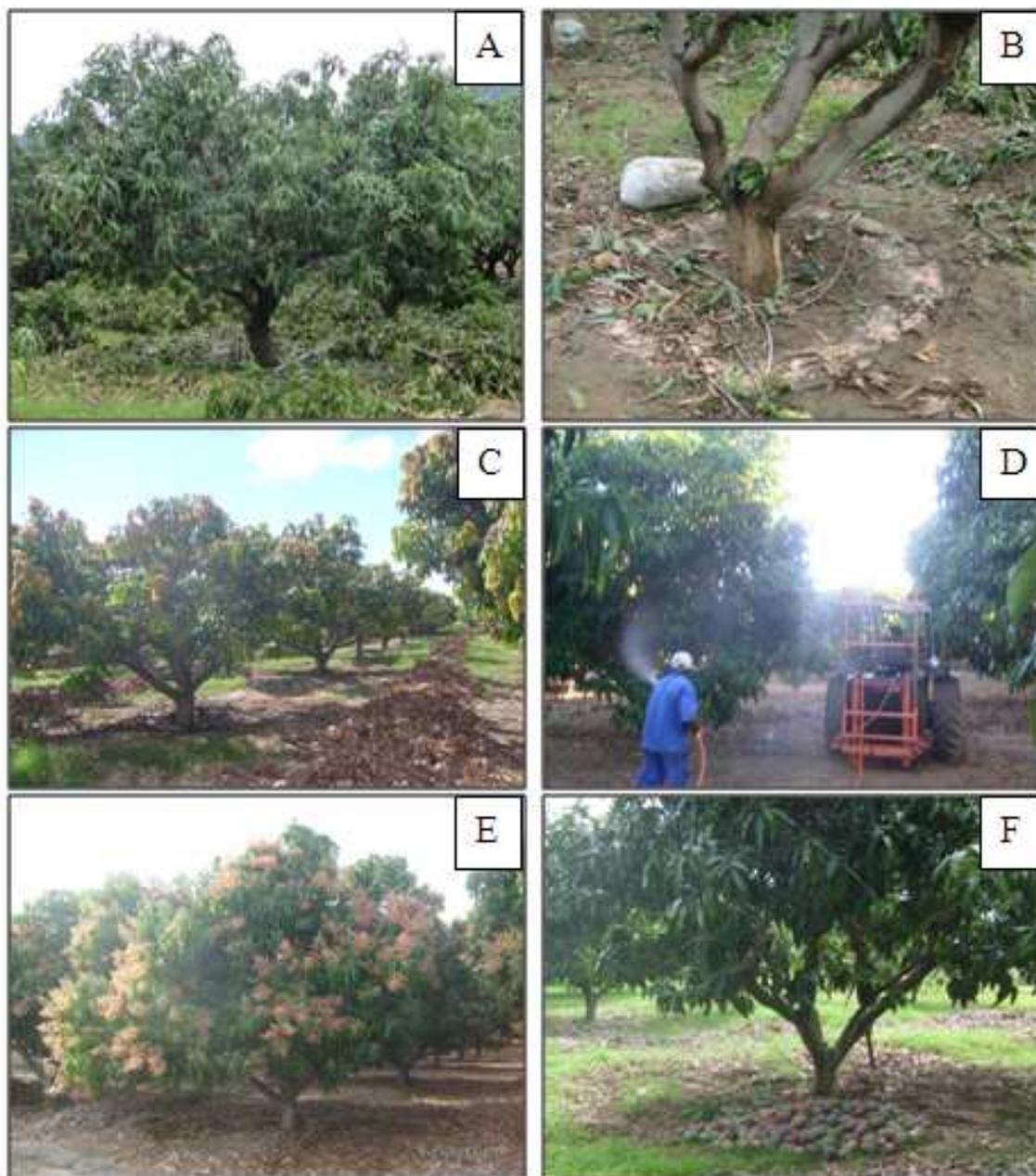
**Figura 1.** Precipitação (PE) e umidade relativa média (UR) diárias para os anos de 2010 e 2011, na localidade de Ceraíma, em Guanambi, BA.



**Figura 2.** Temperatura média diária (TM) e velocidade média diária do vento, a dois metros de altura (U2), para os anos de 2010 e 2011, na localidade de Ceraíma, em Guanambi, BA.

O experimento constituiu no uso da irrigação com déficit controlado (RDI) na cultura da mangueira ‘Tommy Atkins’, com 11 e 12 anos de idade, desde a floração até a maturação dos frutos. O pomar onde foi realizado o experimento possui plantas espaçadas de 8,0 m x 8,0 m, irrigadas por microaspersão com um emissor por planta, com vazão de 50 L h<sup>-1</sup> à pressão de 200 kPa.

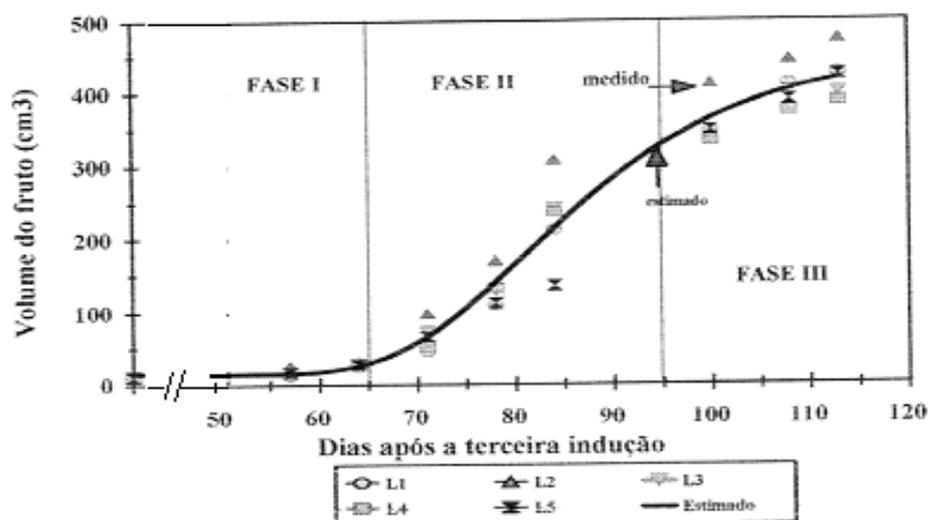
Na condução do experimento, foram consideradas as técnicas de produção de manga utilizadas na região. Nos dois ciclos de produção avaliados, após a colheita, foi realizada a poda das plantas e adubação com 500 g de MAP (fosfato monoamônico), 200 g de sulfato de amônio, 150 g de cloreto de potássio e 20 kg de esterco de galinha por planta. A irrigação foi realizada diariamente, durante um período no qual a planta emitisse até dois fluxos vegetativos após a poda. Após a emissão dos fluxos, foi feita aplicação do regulador de crescimento Paclobutrazol. Posteriormente, cessou-se a irrigação e, quando as plantas apresentaram sintomas de epinastia dos ramos terminais (MOUCO e ALBUQUERQUE, 2005), procedeu-se a aplicação de nitrato de cálcio (dosagem de 3% em três aplicações em intervalo de sete dias) nas folhas para quebrar a dormência das gemas e induzir uma floração uniforme (Figura 3).



**Figura 3.** Poda pós-colheita (A), adubação mineral e orgânica (B), emissão de fluxos vegetativos (C), aplicação de nitrato de cálcio (D), florescimento (E) e colheita (F) em mangaieira ‘Tommy Atkins’ no local do experimento.

Os tratamentos de irrigação com déficit controlado foram aplicados da floração à maturação dos frutos, nas três fases de seu desenvolvimento, conforme Lima et al. (2001) nas condições de Iaçú, BA (Figura 4) e adotado por Cotrim (2009) em seu trabalho. A fase I corresponde ao início de floração (IF) e vai até o pegamento dos frutos, que acontece em torno de

65 dias após o início da floração. A fase II compreende a expansão do fruto e ocorre até aproximadamente 95 dias após o IF. A fase III corresponde ao final de crescimento e maturação fisiológica do fruto que perdura até em torno de 120 dias após o IF.



**Figura 4.** Crescimento de frutos de manga ‘Tommy Atkins’, na Fazenda Boa – Iaçu, BA, em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas (LIMA et al., 2001).

### 3.2. Delineamento experimental e condução do experimento

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco tratamentos (Tabela 2) e seis repetições, sendo uma planta por parcela experimental. Os tratamentos foram aplicados nas fases I, II e III de desenvolvimento dos frutos de manga, após o período de indução floral, nos dois ciclos de produção avaliados.

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos adotados no experimento

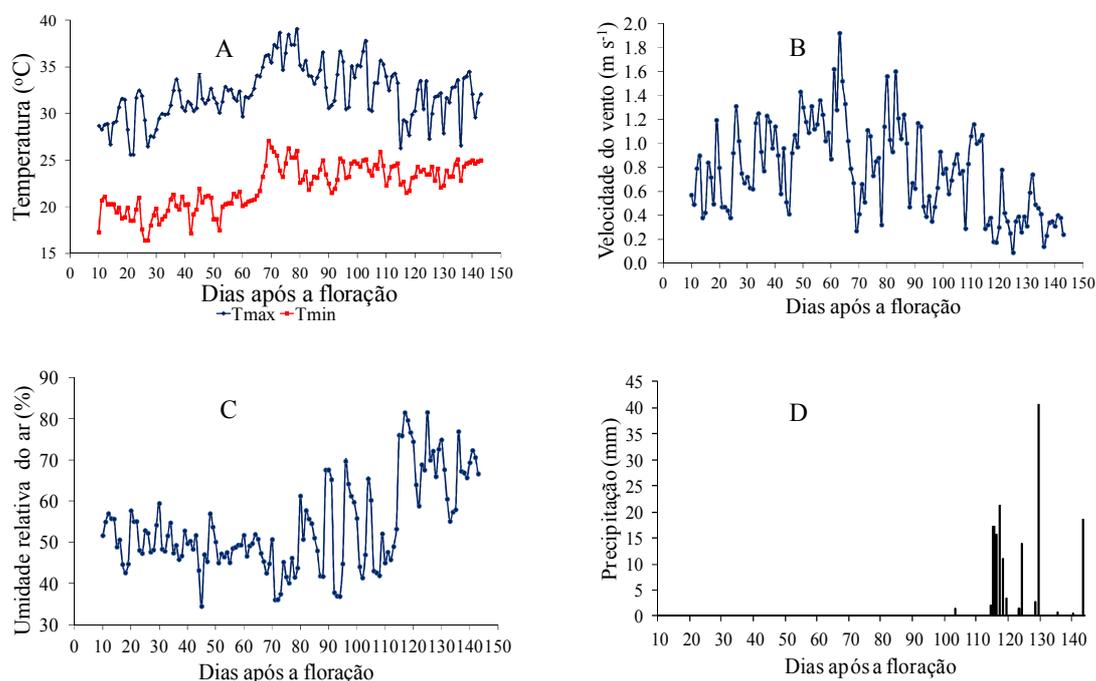
Tratamento	% da ETc		
	Fase I	Fase II	Fase III
T1	100	100	100
T2	50	100	100
T3	100	50	100
T4	100	100	50
T5	0	0	0

As diferenciações das lâminas de irrigação aplicadas pelos microaspersores foram obtidas pela variação no tempo de aplicação das mesmas, por meio do fechamento dos registros

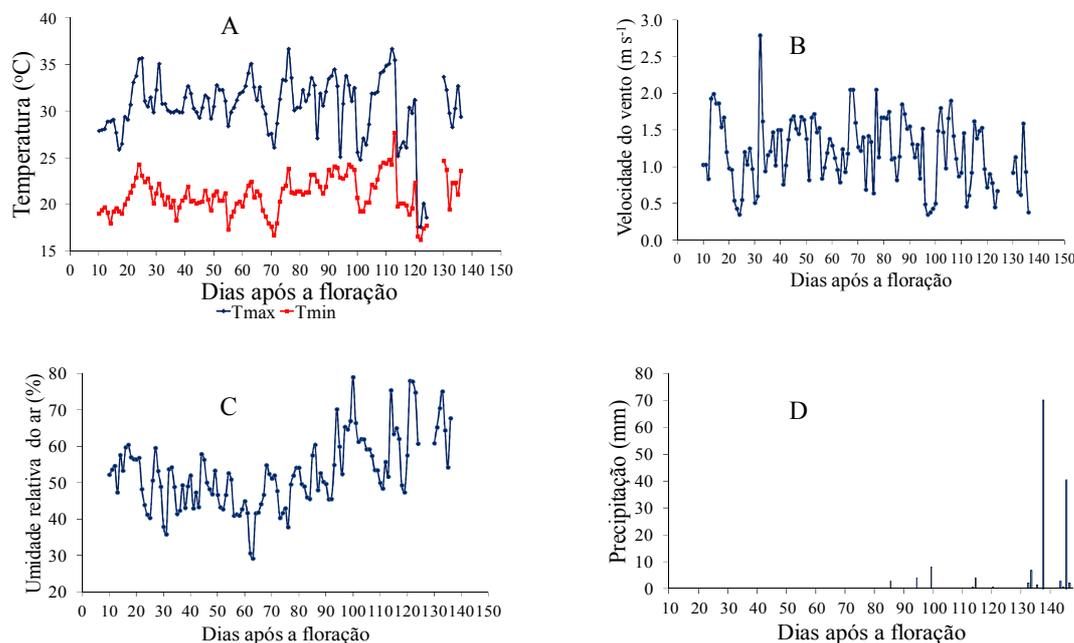
referentes aos diferentes tratamentos. As irrigações foram realizadas com base na evapotranspiração de referência ( $ETo$ ), determinada diariamente por meio do método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) e usou dados de uma estação meteorológica automática, instalada próximo ao pomar. Os coeficientes da cultura ( $K_c$ ) utilizados no cálculo da evapotranspiração, durante as fases de avaliação, foram de 0,45 a 0,87, conforme recomendação de Silva et al. (2001).

A evapotranspiração da cultura, para fins de manejo de irrigação nos diferentes tratamentos, foi calculada com aplicação da Equação 6.

Os comportamentos dos principais elementos do clima que influenciam na evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) são apresentados na Figura 5 para o primeiro ciclo de avaliação e na Figura 6 para o segundo ciclo de avaliação. A radiação solar foi estimada pela equação de Hargreaves (ALLEN et al., 1998) devido à indisponibilidade de dados de insolação real. A equação de Hargreaves considera a temperatura máxima e mínima, a radiação extraterrestre e o fator  $kRs$  que leva em consideração a localização.



**Figura 5.** Temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) (A), velocidade média do vento (B), umidade relativa média do ar (C) e precipitação (D) durante o primeiro ciclo de avaliação, 02/08/2010 a 13/12/2010.

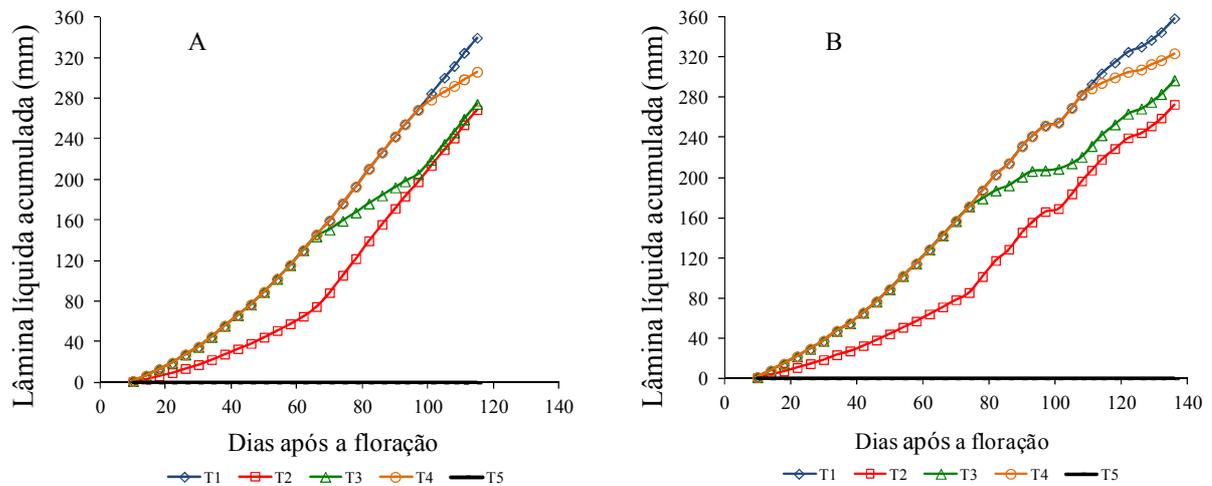


**Figura 6.** Temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) (A), velocidade média do vento (B), umidade relativa média do ar (C) e precipitação (D) durante o segundo ciclo de avaliação, 21/07/2011 à 05/12/2011.

O primeiro ciclo teve início no dia 2 de agosto de 2010 e finalizou em 13 de dezembro de 2010, com duração de 65, 34 e 44 dias para as fases I, II e III, respectivamente. O segundo ciclo iniciou em 21 de julho de 2011 e terminou em 5 de dezembro de 2011, com duração de 74, 34 e 39 dias para as fases I, II e III, respectivamente. Devido à antecipação no processo de indução floral, o período de avaliação no segundo ciclo teve início mais cedo, porém, nesta segunda avaliação, houve um prolongamento das três fases devido aos diversos surtos floríferos influenciados por alternância de frio e calor no período.

As lâminas de irrigação, aplicadas nos diferentes tratamentos, são apresentadas na Figura 7. Nota-se que a aplicação das lâminas iniciou no décimo dia após a floração e finalizou nos 115 e 136 dias após a floração para os ciclos 1 e 2 de avaliação, respectivamente. A partir desses dias, não se realizou mais irrigação, uma vez que a precipitação (Figura 5d e 6d) supriu toda demanda evapotranspirométrica da cultura. O total precipitado durante o período de avaliação foi de 132,0 mm e 100,7 mm no primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

A água utilizada na irrigação, com condutividade elétrica entre 0,62 a 1,32 dS m<sup>-1</sup>, era proveniente de poços tubulares.



**Figura 7.** Lâminas líquidas de irrigação aplicadas nos diferentes tratamentos de RDI em mangueira 'Tommy Atkins' durante o primeiro (A) e segundo ciclo (B).

O tempo de irrigação por dia, utilizado no manejo da irrigação do pomar durante o experimento, foi calculado com o uso da equação recomendada por Goodwin e Boland (2000), considerando a eficiência de aplicação de 0,90:

$$T_i = \frac{ET_c \times R_p \times E_1 \times E_2}{n_e \times q \times E_a} \quad (8)$$

em que,

$T_i$  = tempo de irrigação ( $h \ d^{-1}$ );

$R_p$  = reposição da  $ET_c$  conforme o tratamento (decimal);

$E_1$  = espaçamento entre fileiras de mangueira (m);

$E_2$  = espaçamento entre plantas dentro da fileira (m);

$n_e$  = número de microaspersores por planta;

$q$  = vazão do microaspersor em ( $L \ h^{-1}$ ); e

$E_a$  = eficiência de aplicação (decimal).

Nas ocasiões de ocorrência de precipitações, estas foram subtraídas da  $ET_c$  para obter o tempo de irrigação.

Os valores de coeficiente de localização ( $K_l$ ) foram calculados considerando a área sombreada pela planta, utilizando o método de Fereres, conforme Bernardo et al. (2006), o que resultou em valor unitário.

### 3.2.1. Desenvolvimento de software para manejo da irrigação na mangueira - IrriManga

Usou-se o Microsoft Visual Basic 10.0 no desenvolvimento do software IrriManga (Figura 8A). O IrriManga possibilita a obtenção da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pelo método original de Penman-Monteith e o cálculo do tempo de irrigação localizada para o manejo na cultura da mangueira. Na determinação da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), o software utiliza o coeficiente da cultura conforme (SILVA et al., 2001) e/ou entrada manual de K<sub>c</sub>; utiliza o método de Fereres conforme Bernardo et al, (2006) no cálculo do coeficiente de localização (K<sub>l</sub>) e para o cálculo do tempo de irrigação utiliza a equação recomendada por Goodwin e Boland (2000).

Como dados de entrada (Figura 8B), tem-se:

Variáveis climáticas:

- T<sub>máx</sub> = temperatura máxima (°C),
- T<sub>mín</sub> = temperatura mínima (°C),
- U<sub>2</sub> = velocidade do vento a 2 m de altura da superfície (m s<sup>-1</sup>),
- UR<sub>med</sub> = umidade relativa do ar média (%),
- P<sub>e</sub> = precipitação diária (mm),
- n = insolação real diária (h).

Há casos onde a estação meteorológica não fornece dados de insolação. Assim, a radiação solar será calculada pela equação de Hargreaves.

Sistema de irrigação:

- q = vazão do emissor (L h<sup>-1</sup>),
- n<sub>e</sub> = número de emissor por planta,
- R<sub>p</sub> = reposição da ET<sub>c</sub> conforme o tratamento (decimal)
- E<sub>a</sub> = eficiência de aplicação (decimal)
- W = diâmetro do bulbo molhado pelo emissor (m)

Data:

- Dia (2 dígitos), mês(2 dígitos), e ano(4 dígitos) separados por espaços ou barras.

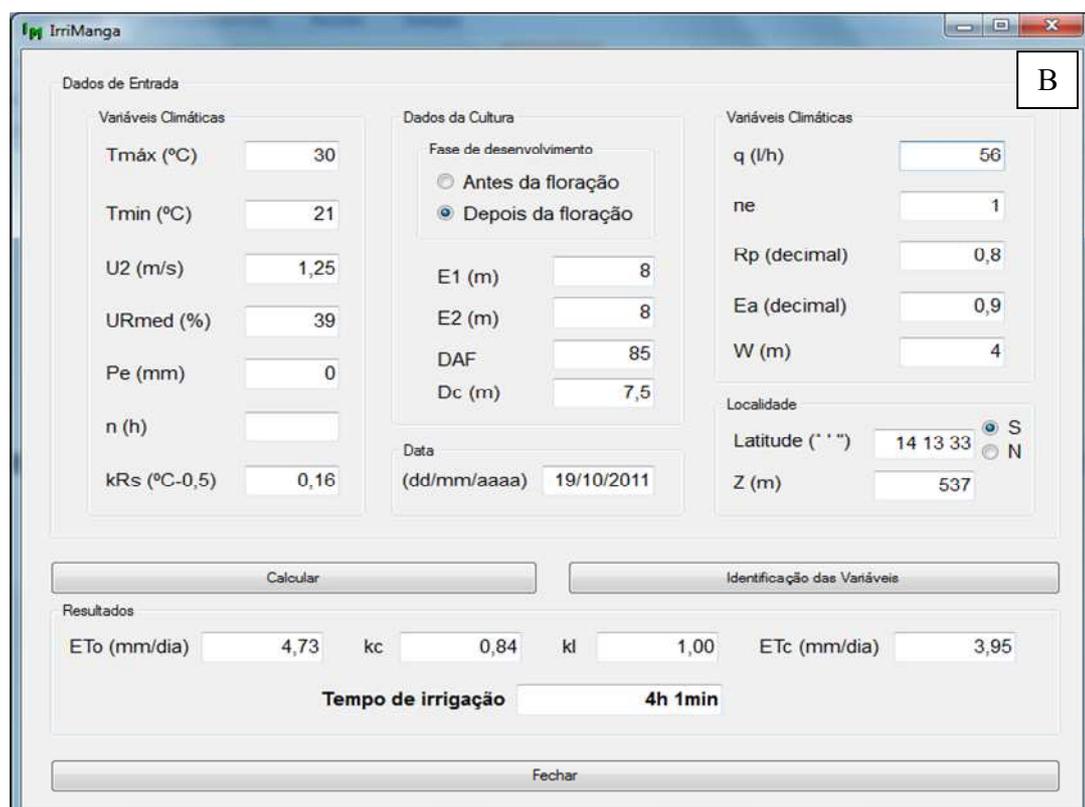
Localidade:

- Latitude (grau, minuto e segundo “separados por espaços ou qualquer caractere”) e apresenta a escolha do hemisfério sul ou norte,
- z = altitude (m).

Dados da cultura:

- E<sub>1</sub> = espaçamento entre fileiras de manga (m),
- E<sub>2</sub> = espaçamento entre plantas dentro da fileira (m),
- DAF = dias após a floração,
- D<sub>c</sub> = diâmetro da copa (m).

Os dados de saída são (Figura 8B): ET<sub>o</sub>, K<sub>c</sub>, K<sub>l</sub>, ET<sub>c</sub> e T<sub>i</sub> (tempo de irrigação).



**Figura 8.** Tela inicial do IrriManga (A) e tela de entrada e saída de dados (B).

### 3.3. Características do solo no local do experimento

As características físico-hídricas e químicas do Neossolo Flúvico, no local do pomar, constam na Tabela 3. As características físico-hídricas foram determinadas conforme Embrapa (1997) e as químicas de acordo com Defelipo e Ribeiro (1997).

**Tabela 3.** Características físico-hídricas e químicas do Neossolo Flúvico

Características Físico-hídricas e químicas	0 – 25 cm	25 – 50 cm	50 – 75 cm	75 – 100 cm
Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	80,00	50,00	10,00	0,00
Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	410,00	430,00	760,00	160,00
Silte (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	270,00	280,00	120,00	520,00
Argila (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	240,00	240,00	110,00	320,00
Massa específica do solo (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	1,62	1,38	1,34	1,31
Massa específica das partículas (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	2,51	2,58	2,62	2,66
Retenção de água a -10 kPa (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	0,43	0,37	0,19	0,54
Retenção de água a -1.500 kPa (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	0,15	0,12	0,05	0,16
Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) <sup>6</sup>	*0,48	0,46	0,48	*0,56
pH em água	7,12	7,23	7,72	7,72
P (mg dm <sup>-3</sup> )	190,40	55,50	23,10	15,30
K (mg dm <sup>-3</sup> )	301,00	171,00	17,00	38,00
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,43	5,16	2,08	5,03
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,84	1,88	0,94	2,62
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,30	1,10	1,10	0,50
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,04	7,48	3,06	7,75
CTC (t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,04	7,48	3,06	7,75
CTC (T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	9,34	8,58	4,16	8,25
V (%)	86,10	87,2	73,60	93,90
m (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	1,63	1,26	0,50	1,63
P-rem (mg L <sup>-1</sup> )	35,80	38,20	25,50	19,20
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	5,84	1,77	0,41	0,96
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	64,60	100,70	116,90	171,60
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	71,90	50,80	17,50	37,40
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,42	2,63	2,73	1,21

<sup>1</sup> Por peneiramento

<sup>2</sup> Método da Pipeta

<sup>3</sup> Método da proveta e anel volumétrico

<sup>4</sup> Método do balão volumétrico

<sup>5</sup> Equipamento de placa porosa

<sup>6</sup> Calculado por  $PT = 1 - \rho_s / \rho_p$ ; \*Ajustado pelo RETC com o modelo de van Genuchten/Mualen

P – Na – K – Extrator Mehlich 1

Ca – Mg – Al – Extrator: KCl – 1 mol.L<sup>-1</sup>

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH 7,0

SB = Soma de Bases

CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

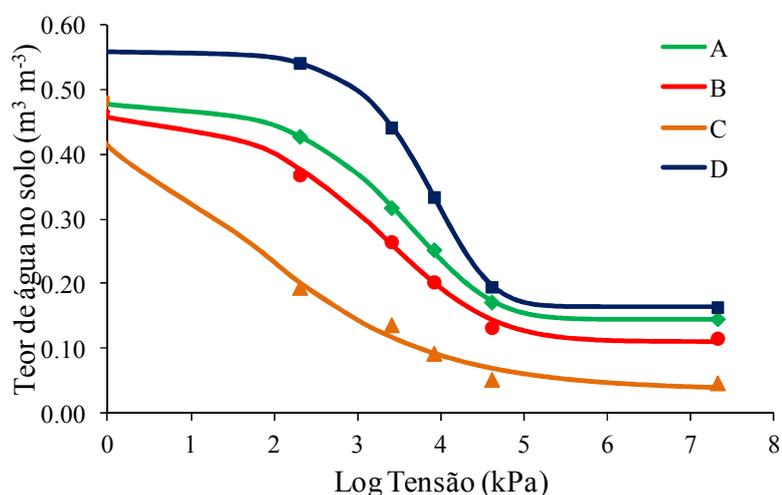
V = Índice de Saturação de Bases

m = Índice de Saturação de Alumínio

Mat. Org = C. Org x 1,724 – Walkley-Black

P-rem = Fósforo Remanescente

Na Figura 9, constam as curvas de retenção e, na Tabela 4, os parâmetros do modelo de van Genuchten para os estratos do solo em estudo.



**Figura 9.** Curvas características de retenção de água no solo: A (camada de solo compreendida entre 0,00 e 0,25 m), B (entre 0,25 e 0,50 m), C (entre 0,50 e 0,75 m) e D (entre 0,75 e 1,00 m).

**Tabela 4.** Parâmetros do modelo de van Genuchten, ajustado pelo RETC para as camadas (estratos) 0,00 a 0,25 m de profundidade (A), 0,25 a 0,50 m de profundidade (B), 0,50 a 0,75 m de profundidade (C) e 0,75 a 1,00 m de profundidade (D).

Parâmetros	A	B	C	D
Alfa – $\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	0,0007	0,0015	0,0256	0,0009
M	4,9689	2,4865	0,7841	4,0911
N	1,2597	1,1077	1,005	1,8639
$\theta$ residual ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	0,14	0,11	0,04	0,16
$\theta$ na saturação ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	0,48	0,46	0,48	0,56

### 3.4. Calibração de sondas de TDR

As sondas de TDR, usadas no experimento, foram confeccionadas em laboratório. Estas foram compostas de três hastes de 0,13 m de comprimento, dos quais 0,10 m de comprimento efetivo e 0,03 m de comprimento coberto por resina. As hastes foram espaçadas, entre si, de 1,7 cm, e não dispunham de resistor na haste central (SILVA et al., 2005).

Na determinação dos teores de água no solo, ao se usar a TDR, há necessidade da calibração das sondas para cada tipo de solo. A calibração das sondas foi feita com amostras

deformadas conforme Santos et al. (2010). Nestas foram determinadas as constantes dielétricas (Ka) com a utilização da TDR e os teores de água da amostra por gravimetria, desde a saturação até valores próximos ao ponto de murcha permanente. Os valores de teores de água e constante dielétrica foram correlacionados, o que gerou um modelo de regressão para cada camada de solo que permitiu estimar os teores de água nos solos em função de valores de constante dielétrica obtidas com utilização da TDR. Os modelos para estimativa do teor de água ( $\theta$ ) em função da constante dielétrica (Ka) são apresentados nas equações 9, 10, 11 e 12 para os estratos 0 a 0,25; 0,25 a 0,50; 0,50 a 0,75 e 0,75 a 1,00 m de profundidade, respectivamente.

$$\theta = 0,000023Ka^3 - 0,001474Ka^2 + 0,043010Ka - 0,256019, R^2 = 0,98 \quad (9)$$

$$\theta = 0,012121Ka - 0,059308, r^2 = 0,96 \quad (10)$$

$$\theta = 0,012230Ka - 0,066887, r^2 = 0,96 \quad (11)$$

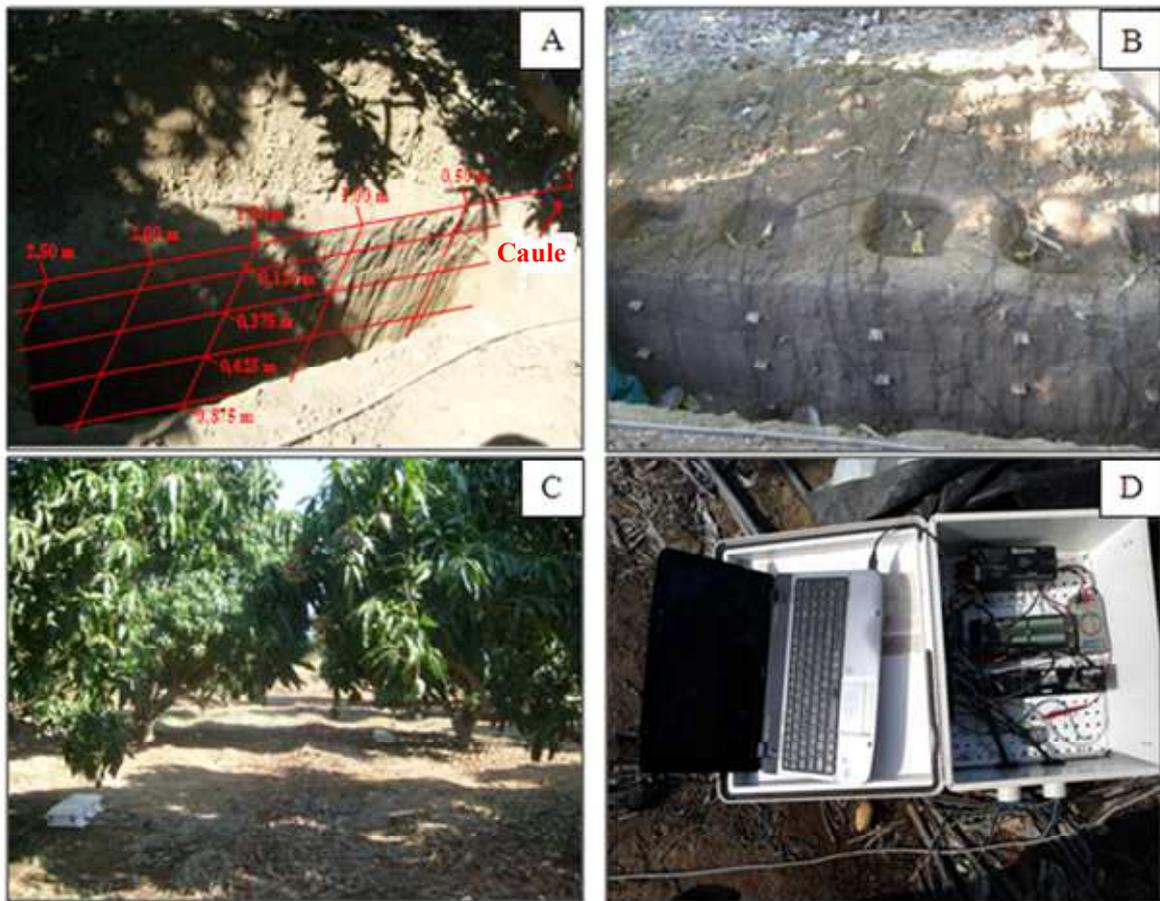
$$\theta = 0,013641Ka - 0,059207, r^2 = 0,99 \quad (12)$$

### 3.5. Teor de água no solo e extração de água

Sondas de TDR foram instaladas em uma planta de cada tratamento e as mensurações dos teores de água foram realizadas do final da fase I até início da fase III com vista à determinação da distribuição da água no solo e os perfis de extração de água pelo sistema radicular. As sondas foram instaladas formando uma malha no perfil do solo, de forma a possibilitar as determinações dos teores de água à 0,50; 1,00; 1,50; 2,00; e 2,50 m de distância do caule da planta na direção longitudinal à fileira de plantas e, para cada uma destas distâncias, às profundidades de 0,125; 0,375; 0,625 e 0,875 m (Figura 10).

As leituras do teor de água no solo foram realizadas automaticamente por meio do acoplamento das sondas a multiplexadores e estes a uma TDR, que efetuava a leitura e armazenava em um “*datalogger*”. As leituras foram realizadas em intervalos de 10 minutos.

O acompanhamento dos valores médios do teor de água no solo junto ao sistema radicular da planta sempre era realizado para um tratamento com RDI e com o tratamento controle. Devido à limitação de multiplexadores e à distância das plantas mensuradas, o acompanhamento foi escalonado quinzenalmente entre os tratamentos, de forma a acompanhar a distribuição dos teores de água no solo nas mudanças de fase, na qual a planta passaria a receber outra lâmina de RDI.



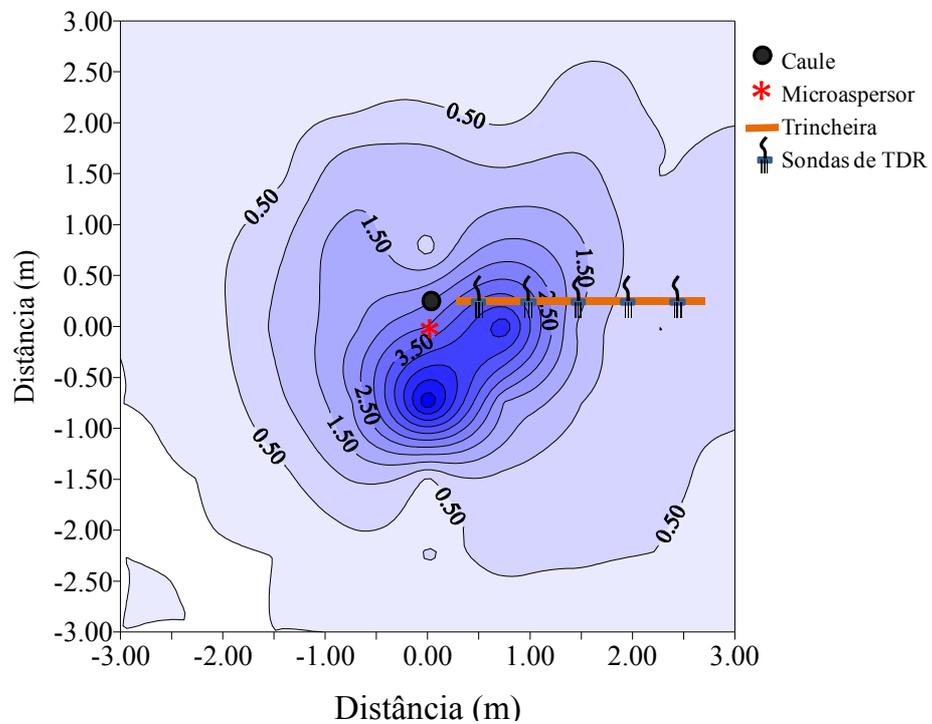
**Figura 10.** Malha que indica a posição de instalação das sondas de TDR (A), inserção das sondas de TDR no perfil (B), monitoramento do teor de água no solo com a TDR (C) e sistema TDR, datalogger e transferência de dados para o PC (D).

O perfil médio de intensidade de aplicação ( $\text{mm h}^{-1}$ ) do microaspersor, que operou a uma pressão de 200 kPa, locais de inserção das sondas de TDR, posição do microaspersor e do caule são verificados na Figura 11.

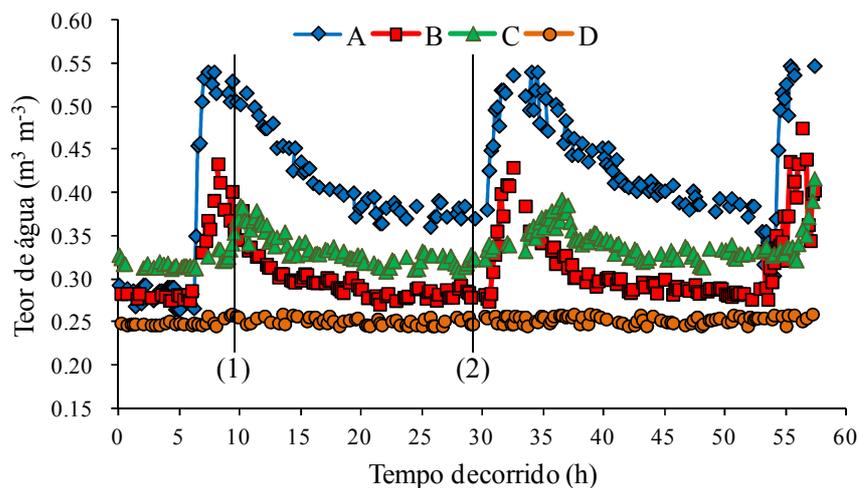
O cálculo da extração de água pelas raízes foi feito com base nos teores de água determinados em dois intervalos de tempo, computados em todos os pontos da malha: um entre o final da irrigação e o final da fase de redução acentuada do teor de água (estágio 1) e um entre este ponto e o início da próxima irrigação (estágio 2) (Figura 12), conforme Coelho e Or (1999b) e Silva et al. (2001).

A diferença entre os teores de água em cada ponto da malha, após a irrigação e antes da próxima irrigação, foi considerada apenas como extração de água pela cultura no presente trabalho, uma vez que a irrigação tinha frequência diária, a área sombreada pela planta era maior

que a área molhada pelo emissor e a profundidade na camada superficial, onde determinou o teor de água, foi de 0,125 m. Na condição de contorno da superfície, foi considerado a extração nula.



**Figura 11.** Perfil médio de intensidade de aplicação ( $\text{mm h}^{-1}$ ) do microaspersor, posição do microaspersor, posição da planta e locais de inserção das sondas de TDR.



**Figura 12.** Teor de água no solo cultivado com mangueira 'Tommy Atkins' nas profundidades: 0,125 m (A); 0,375 m (B); 0,625m (C) e 0,875 m (D) momento após encerrar a irrigação (1) e momento antes de iniciar a próxima irrigação (2).

A extração de água foi determinada no 68º dia após a floração (final da fase I) para os tratamentos 1, 2 e 3 e, no início da fase II, no 82º e 94º dias após a floração para os tratamentos 2 e 3, respectivamente. Para o tratamento 5, a extração de água foi determinada pela diferença dos teores de água no solo no 90º e 105º dias após a floração.

### **3.6. Trocas gasosas e temperatura foliar**

Durante as fases I, II e III e para todos os tratamentos, as taxas de transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e de fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) e a temperatura foliar ( $^{\circ}\text{C}$ ) foram determinadas mensalmente no primeiro ciclo e quinzenalmente no segundo ciclo de avaliação por meio de um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LC PRO da ADC. No primeiro ciclo, as mensurações foram realizadas entre 10 e 11 horas e, no segundo ciclo de avaliação, as mensurações foram realizadas entre 13 e 14 horas. Por problemas técnicos no IRGA, as mensurações ficaram limitadas aos 81 dias após a floração no segundo ciclo de avaliação.

### **3.7. Análise de produtividade e qualidade de frutos**

Como indicadores da qualidade física, os frutos colhidos, após serem medidos e pesados, foram classificados em diferentes classes de peso. A norma estabelecida pela EMBRAPA (2009) considera cinco classes para a manga: 100 (100 e 200 g), 200 (201 a 350 g), 350 (351 a 550 g), 550 (551 a 800 g) e 800 (> 800 g).

Ao se visar melhor detalhamento da distribuição da massa de frutos, neste trabalho, foram avaliadas as produtividades por classes de frutos com variação de 100 gramas. Para quantificar a produtividade dentro de cada classe, os frutos foram pesados individualmente, usando uma balança de acurácia 0,1 g.

Os tratamentos foram comparados quanto à produtividade total, em número e massa dos frutos, e à produtividade dentro de cada faixa de classificação.

### **3.8. Eficiência de uso da água**

A eficiência de uso da água foi calculada para todos os tratamentos e considerou a produtividade e a lâmina bruta aplicada, conforme Silva et al. (2009).

$$EUA = \frac{Pr}{LBA} \quad (13)$$

em que,

EUA = eficiência de uso da água ( $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ );

Pr = produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); e

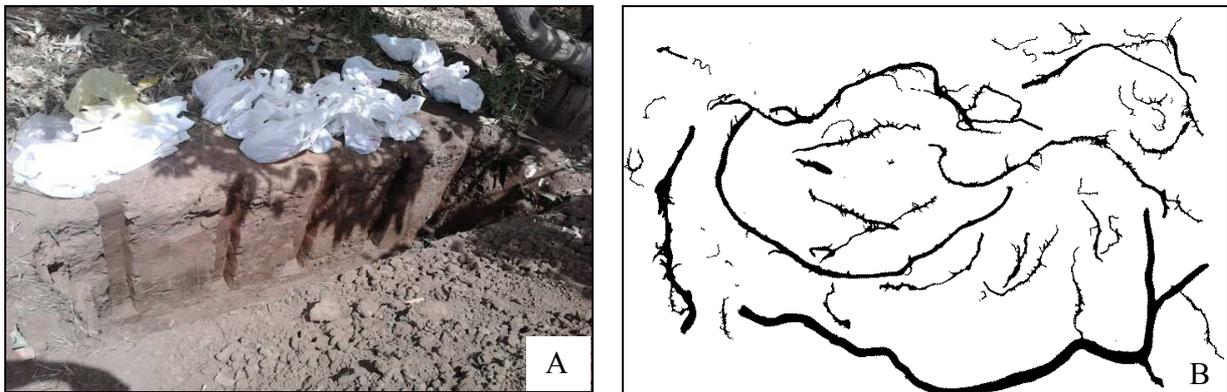
LBA = lâmina bruta aplicada durante o ciclo da cultura (mm).

### **3.9. Distribuição do sistema radicular**

Para avaliação da distribuição do sistema radicular, a coleta de raízes foi feita após a colheita do segundo ciclo de avaliação.

Usou-se um delineamento inteiramente casualizado com os cinco tratamentos (Tabela 2) e três repetições, sendo uma planta a parcela experimental.

Para cada parcela experimental foi escavada uma trincheira com as seguintes dimensões (2,50 m x 0,50 m x 1,00 m de comprimento, largura e profundidade, respectivamente) na direção longitudinal à fileira de plantas. O volume de cada amostra foi de  $500 \text{ cm}^3$  (10,00 cm x 10,00 cm x 5,00 cm de comprimento, altura e largura, respectivamente). As amostragens foram realizadas em quatro profundidades e cinco distâncias do caule da planta (Figura 13A). As profundidades médias amostradas foram de 0,10; 0,35; 0,60 e 0,85 m. que se iniciaram a 0,50 m do caule da planta e afastaram-se do mesmo em incremento de 0,50 m horizontal até atingir 2,50 m de distância. Após a retirada, as amostras foram colocadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório onde as raízes foram separadas do solo por lavagem com água. Uma vez separadas, as raízes de cada posição no perfil do solo foram classificadas conforme os diâmetros dos segmentos e colocadas em folhas de transparências. Estas, que continham as raízes, foram, em seguida, levadas a um "scanner" e digitalizadas (KASPAR e EWING, 1997; COELHO e OR, 1999a) em arquivos TIFF ("Tagged Image File Format").



**Figura 13.** Retirada das amostras de raízes da mangueira 'Tommy Atkins' (A) e imagem depois de preparadas por meio do Adobe Photoshop (B).

Os arquivos TIFF foram, em seguida, preparados por meio do Adobe Photoshop para limpeza de bordas escuras ocasionadas no processo de digitalização e submetidos ao aplicativo Rootedge (KASPAR e EWING, 1997), para a determinação das características geométricas: comprimento e diâmetro das raízes. O comprimento das raízes,  $L_r$  (cm), foi usado para a determinação da densidade de comprimento de raízes,  $DCR$  ( $\text{cm cm}^{-3}$ ), para um volume de amostra  $V_r$  ( $\text{cm}^3$ ), sendo a  $DCR = L_r/V_r$ .

A  $DCR$  foi determinada considerando todas as raízes por tratamento; as raízes muito finas (diâmetro inferior a 0,55 mm); as raízes finas (diâmetro compreendido de 0,55 a 2,05 mm); as raízes pequenas (diâmetro compreendido de 2,05 a 5,05 mm) e as raízes médias a muito grande (diâmetro superior a 5,05 mm), conforme Coelho et al. (2001).

### **3.10. Análise dos dados**

Os dados de produtividade, qualidade de frutos, eficiência de uso da água, trocas gasosas, temperatura foliar e densidade de comprimento de raízes foram submetidos à análise de variância. As médias de produtividade, qualidade de frutos, eficiência de uso da água, trocas gasosas e temperatura foliar foram comparadas com o uso do teste de Duncan e a densidade de comprimento de raízes pelo teste de Tukey, utilizando o SAEG. Adotou-se para isto um nível de 5% de probabilidade.

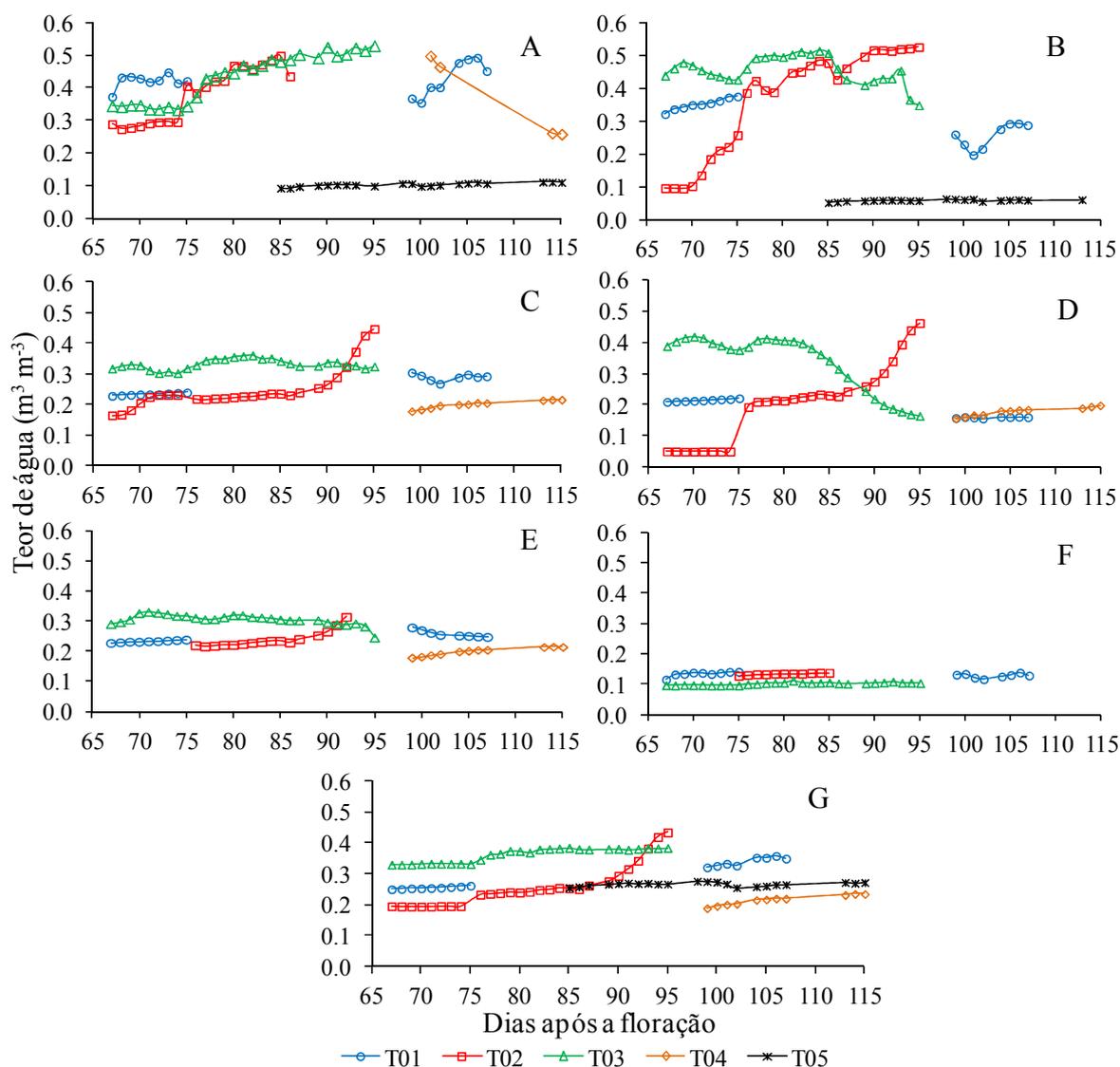
Usou-se análise em esquema fatorial com oito tratamentos, quatro condições hídricas e dois ciclos, para avaliar o comportamento da variável eficiência de uso da água; análise fatorial

com dez tratamentos, cinco condições hídricas e dois ciclos, para avaliar o comportamento das variáveis números de frutos e produtividade e análise fatorial, com cem tratamentos, cinco condições hídricas, cinco distâncias amostradas e quatro profundidades amostradas para avaliar o comportamento da DCR total, DCR muito finas, DCR finas, DCR pequenas e DCR grandes.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Teor de água no solo e extração de água

Os valores médios diários de teores de água no solo para os diferentes tratamentos e pontos no perfil do solo, para o período compreendido entre o final da fase I e o início da fase III, são apresentados na Figura 14.



**Figura 14.** Teores de água no solo cultivado com mangueira 'Tommy Atkins' para os diferentes tratamentos a 0,50 m do caule e 0,125 m de profundidade (A); 0,50 m do caule e 0,625 m de profundidade (B); 1,50 m do caule e 0,125 m de profundidade (C); 1,50 m do caule e 0,625 m de profundidade (D); 2,00 m do caule e 0,125 m de profundidade (E); 2,50 m do caule e 0,625 m de profundidade (F) e 1,50 a 2,00 m do caule e 0,875 m profundidade (G).

Os valores de teor de água para os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, à distância de 0,50 m do caule e profundidade 0,125, são observados na Figura 14A e para os tratamentos 1, 2, 3 e 5, à distância de 0,625 m, são observados na Figura 14B. Nota-se que, independentemente da profundidade, o tratamento 5 (sem irrigação) apresenta teores de água próximos ao teor de água à -1.500 kPa (Tabela 3). Evidencia-se a não interferência de fonte de água próximo ao sistema radicular dessas plantas. Para os demais tratamentos, os valores de teor de água, na camada superficial a 0,50 m do caule, apresentaram variações similares, portanto, na mesma distância do caule à profundidade de 0,625 m, o tratamento 2 apresenta valores de teor de água baixos, no período inferior aos 75 dias após a floração, com gradativo aumento após este período. Esta variação é explicada pelo fato da aplicação da RDI com 50% da ETc ter ocorrido na fase I e com 100% da ETc nas fases subsequentes, em que, com o incremento da lâmina para 100% da ETc, houve contribuição para avanço da frente de umedecimento à camadas inferiores no solo. Comportamento inverso é verificado para o tratamento 3 (Figura 14D), nota-se que os valores de teor de água decrescem a partir dos 80 dias após a floração na terceira camada a 0,625 m de profundidade, à distância de 1,50 m do caule. Ao contrário do tratamento 2, o tratamento 3 que recebia irrigação plena na fase I passou a receber RDI com 50% da ETc na fase II, o que explica o decaimento dos valores de teores de água no solo.

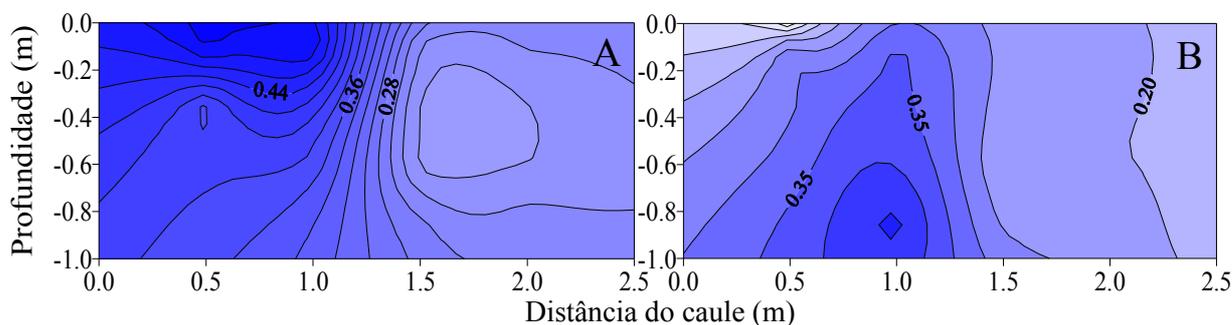
Os valores de teores de água no solo na camada superficial a 2,0 m de distância do caule (Figura 14E), para os tratamentos com irrigação, apresentaram variações pequenas, uma vez que o alcance do jato fica restrito a um raio de aproximadamente 2,50 m do emissor (Figura 11).

Observa-se na Figura 14F, a 0,625 m de profundidade e à distância de 2,50 m do caule, valores de teores de água médios próximos à retenção de água a -30 kPa. Devido à camada entre 0,75 e 1,00 m conter alto teor de silte e argila, ocasiona maior resistência à percolação ao comparar com a camada arenosa situada entre 0,50 a 0,75 m de profundidade. Esta camada argilosa faz com que a água acumule na camada arenosa e redistribua horizontalmente até alcançar 2,50 m do caule.

Os valores de teores de água para os tratamentos 1, 2 e 4 apresentaram semelhanças às condições sem irrigação (tratamento 5) (Figura 14G) para a profundidade de 0,875 m. Para os tratamentos 3 e 1, os teores de água alcançam valores próximos a  $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Ratifica-se com estes dados de teores de água que, com o manejo adotado, não há percolação profunda, uma vez

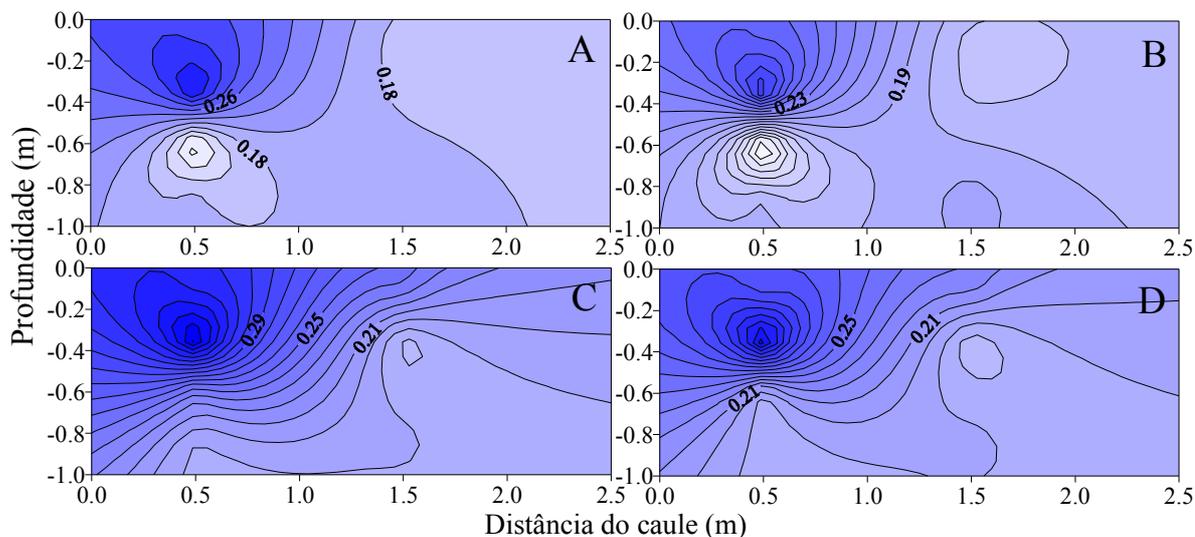
que os valores de teores de água, à retenção de -10 kPa, para este extrato é de  $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (Tabela 3) e os valores de teores de água nas condições monitoradas não alcançam este limite.

Na Figura 15, são apresentadas as isolinhas de teores de água no solo depois da irrigação e antes da irrigação para o tratamento 1. Observa-se que, apesar do alcance do jato pela microsaspersão atingir um raio pouco superior a 2,50 m (Figura 11), a maior contribuição em área molhada fica compreendida nos primeiros 1,50 m de distância do caule, ao qual, ocasionou-se elevação nos valores de teor de água no perfil até esta distância do caule.

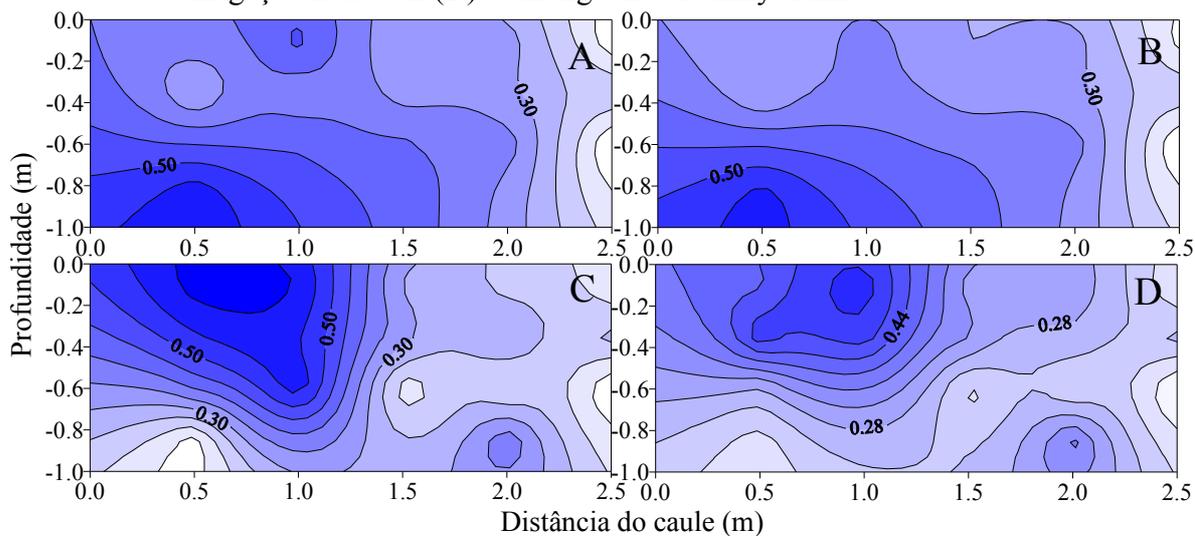


**Figura 15.** Isolinhas de teores de água no solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para o tratamento 1 depois da irrigação (A) e antes da irrigação (B) na fase I da mangueira ‘Tommy Atkins’.

São apresentadas, nas Figuras 16 e 17, as isolinhas de teores de água no perfil do solo para os tratamentos 2 e 3, respectivamente. Considera-se, em ambos os tratamentos, dois períodos distintos de monitoramento: um na fase de pegamento do fruto, em que o tratamento 2 recebia RDI com 50% da  $ET_c$  e o tratamento 3 com irrigação plena e, em outro momento na fase de expansão do fruto, em que o tratamento 2 já recebe irrigação plena e o tratamento 3 RDI com 50% da  $ET_c$ . Nota-se que, em ambos os casos, houve influência da RDI no perfil molhado do solo, depois e antes da irrigação. Ocorreu avanço na frente de umedecimento para o tratamento 2 quando passou da RDI de 50% para 100% da  $ET_c$  e uma redução no perfil molhado no tratamento 3 quando passou a receber RDI.



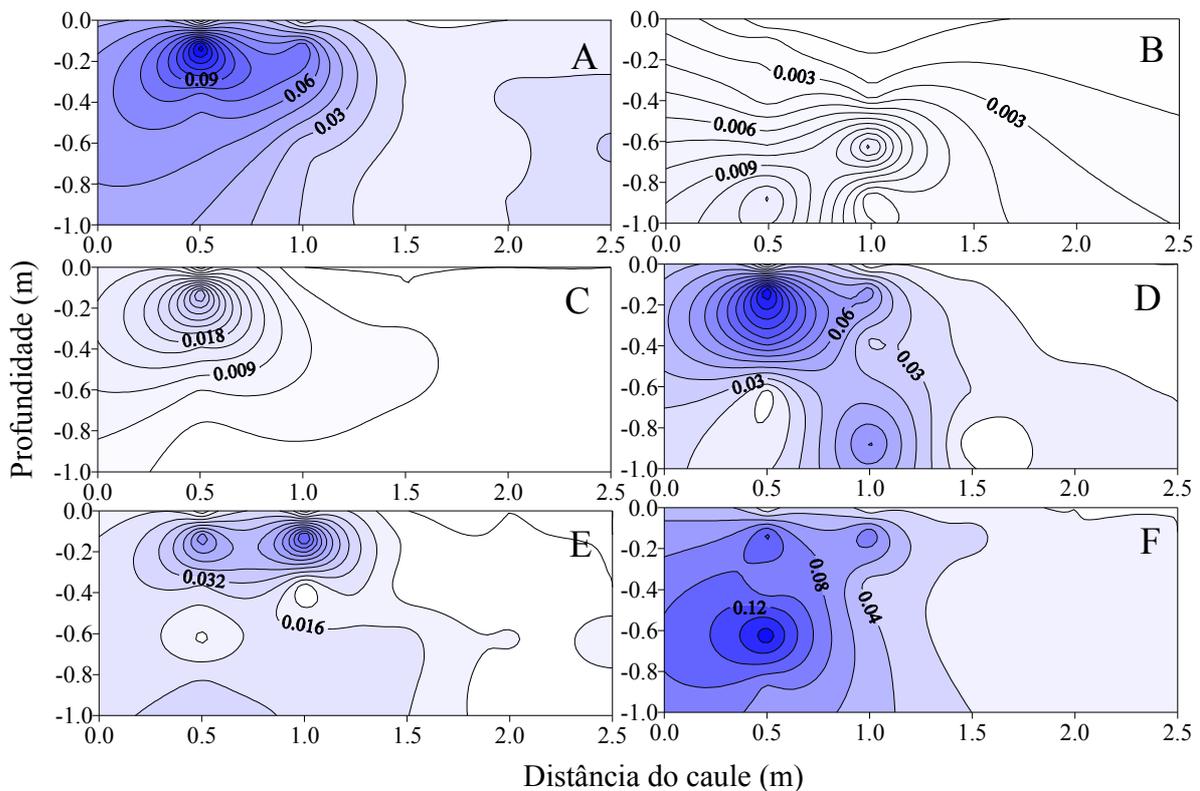
**Figura 16.** Isolinhas de teores de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) para o tratamento 2, depois da irrigação na fase I (A), antes da irrigação na fase I (B), depois da irrigação na fase II (C) e antes da irrigação na fase II (D) da mangueira ‘Tommy Atkins’.



**Figura 17.** Isolinhas de teores de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) para o tratamento 3 depois da irrigação na fase I (A), antes da irrigação na fase I (B), depois da irrigação na fase II (C) e antes da irrigação na fase II (D) da mangueira ‘Tommy Atkins’.

A extração de água pela planta, para os diferentes tratamentos, é verificada na Figura 18. A média dos teores de água no solo, a 0,875 m de profundidade, após o término da irrigação para os tratamentos 1, 2 e 3, é verificada na Figura 19. Ressalva-se que não houve percolação, uma vez que as variações nos teores de água são mínimas, desde uma hora até dezessete horas após encerrar a irrigação (Figura 19).

A extração de água para o tratamento 5 (Figura 18B) considera a diferença de teor de água num período de 15 dias para cálculo de extração de água, uma vez que essas plantas não eram irrigadas e o decréscimo da umidade apresentava variações mínimas em escala diária. Observa-se, pelas isolinhas, que a extração de água apresenta valores reduzidos, mesmo com a diferença de umidades em período extenso. Este comportamento já era esperado, uma vez que não era realizada irrigação. Nota-se que a extração ocorre, principalmente, nas camadas mais profundas do solo (Figura 18D e F).

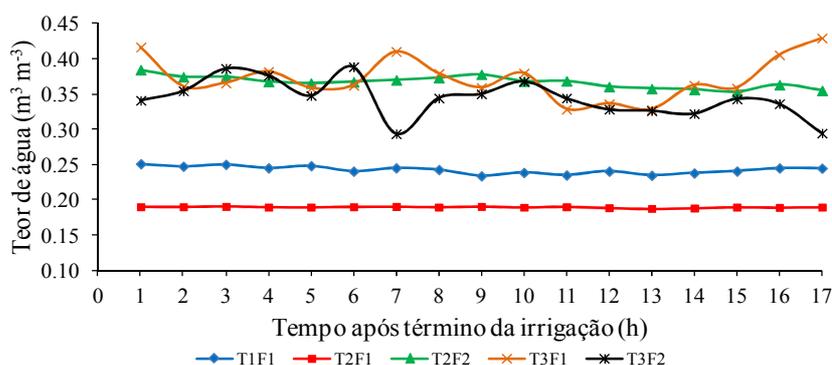


**Figura 18.** Isolinhas de extração de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) pelo sistema radicular da planta para o tratamento 1 na fase I (A), tratamento 5 (B), tratamento 2 na fase I (C), tratamento 2 na fase II (D), tratamento 3 na fase I (E), tratamento 3 na fase II (F) da mangueira ‘Tommy Atkins’.

Verifica-se ainda que a extração de água acontece, principalmente, à distância inferior a 1,50 m do caule no perfil do solo e nos primeiros 0,50 m de profundidade no tratamento 1 (Figura 18A), tratamento 2 na fase I (Figura 18C) e no tratamento 3 na fase I (Figura 18E). A extração de água, após um período de alteração na lâmina de irrigação, como no tratamento 2 (Figura 18D) e tratamento 3 (Figura 18F) na fase II, também ocorre em maior intensidade nas camadas mais profundas do solo, quando comparados com a extração na fase I. Para o tratamento

2, na segunda fase, esse comportamento pode ser explicado pelo incremento da lâmina e, no tratamento 3, pela diferença entre os teores de água após a irrigação e antes da próxima irrigação ser maior que nas camadas superficiais, devido ao decréscimo dos teores de água das camadas mais profundas para a superfície devido a redução da irrigação plena para RDI com 50% da ETc.

Ao avaliar a distribuição espacial e absorção de água pelo sistema radicular da cultura da mangueira 'Haden' irrigada por microaspersão, Santos (1997) verificou que 75,58% da extração da água pela planta ocorre na camada restrita a 1,50 m de distância do caule e à profundidade de 0,80 m. Considerando 2,00 m de distância do caule, 48,36% da absorção de água ocorre na camada de 0,0 a 0,20 m, de 0,20 a 0,40 m ocorreu 20% do consumo; de 0,40 a 0,60 m de profundidade, 9,6% e de 0,60 a 0,80 m de profundidade foi registrado 13% do consumo total da solução do solo.

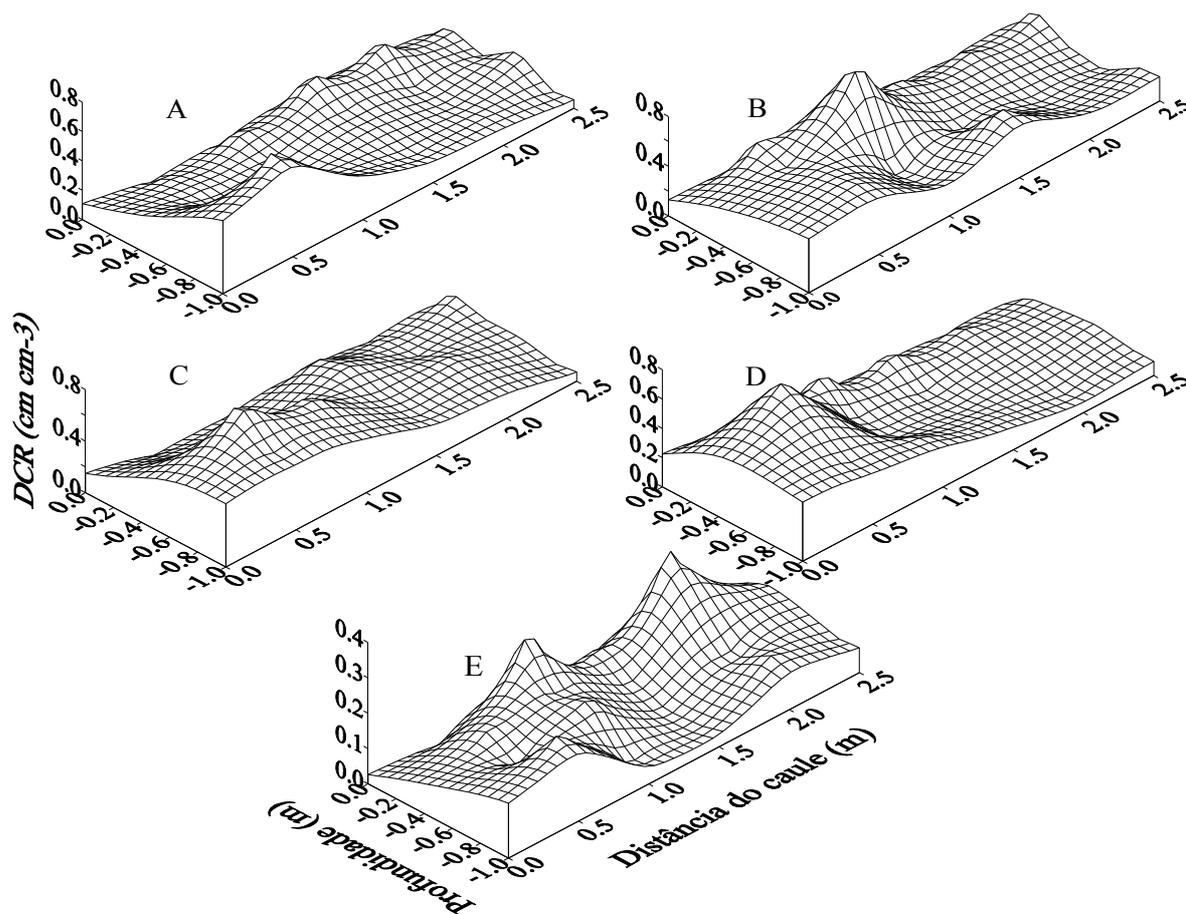


**Figura 19.** Teor de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) para o tratamento 1 na fase I (T1F1), tratamento 2 na fase I (T2F1), tratamento 2 na fase II (T2F2), tratamento 3 na fase I (T3F1) e tratamento 3 na fase II (T3F2) aplicados em mangueira 'Tommy Atkins'.

#### 4.2. Distribuição do sistema radicular

É observado na Figura 20, a (DCR) densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) para os diferentes tratamentos. A distribuição da DCR é influenciada pelo teor de água no solo em consequência do manejo de irrigação adotado. As médias de DCR totais foram de 0,25; 0,24; 0,20; 0,16 e 0,11  $\text{cm cm}^{-3}$  para os tratamentos 2, 3, 4, 1 e 5, respectivamente. Pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), os tratamentos 2 e 3, com maior média de DCR no perfil avaliado, diferiram do tratamento 5 (sem irrigação), com menor DCR. Com a mesma estatística, não houve diferenças na DCR entre os tratamentos 1, 2, 3 e 4, assim como entre os tratamentos 1, 4 e 5. Com estes resultados, infere-se que há uma tendência no aumento da DCR quando a planta passa por déficit

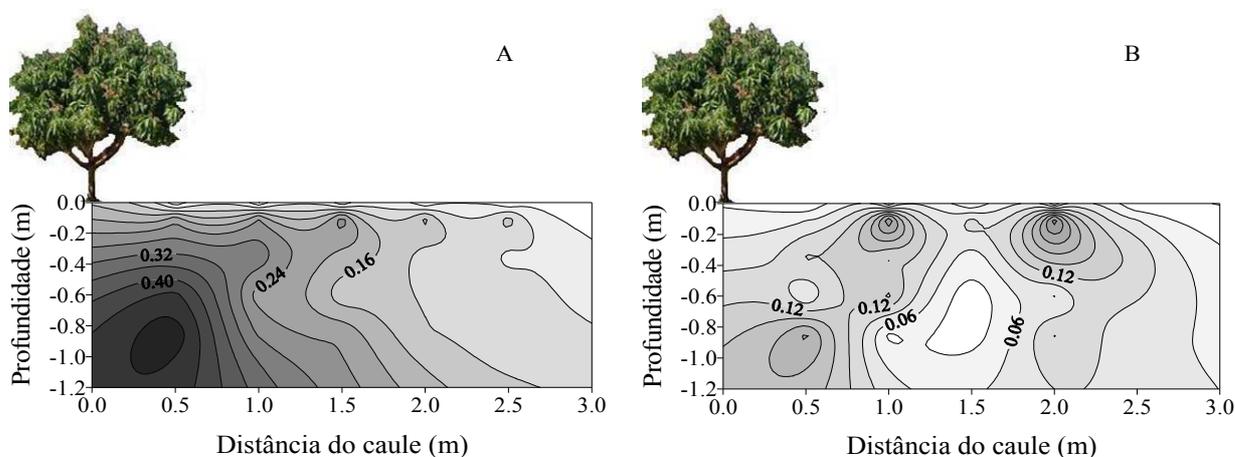
nos estádios de pegamento e expansão dos frutos. Isso pode ser atribuído ao fato de que, sob condição de déficit hídrico parcial, com baixos potenciais de água no solo, há aumento dos níveis de ABA e o efeito geral é um aumento da razão raiz / parte aérea (TAIZ e ZEIGER, 2009). Isto é, há maior investimento em raízes e redução da área foliar em decorrência de mudança na razão raiz / parte aérea, alteração nos drenos preferenciais, que é dependente do grau do déficit hídrico.



**Figura 20.** Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de mangueira 'Tommy Atkins' para os tratamentos: 1 (A); 2 (B); 3 (C); 4 (D) e 5 (E).

Ao se considerar a média da DCR da mangueira 'Tommy Atkins', independente da estratégia de manejo sob microaspersão (Figura 21A), a menor DCR fica compreendida a 2,50 m de distância do caule da planta e a maior densidade entre 0,00 a 1,00 m de distância do caule e 0,20 a 0,90 m de profundidade. Coelho et al. (2001) também encontraram maior densidade de comprimento de raízes nas camadas de 0,00 a 1,20 m de profundidades até a distância horizontal de 0,50 m do caule e entre 0,00 e 0,60 m para distâncias horizontais de 0,50 a 3,00 m do caule, em mangueira 'Tommy Atkins' sob microaspersão. Santos (1997) verificou que 86,5% do

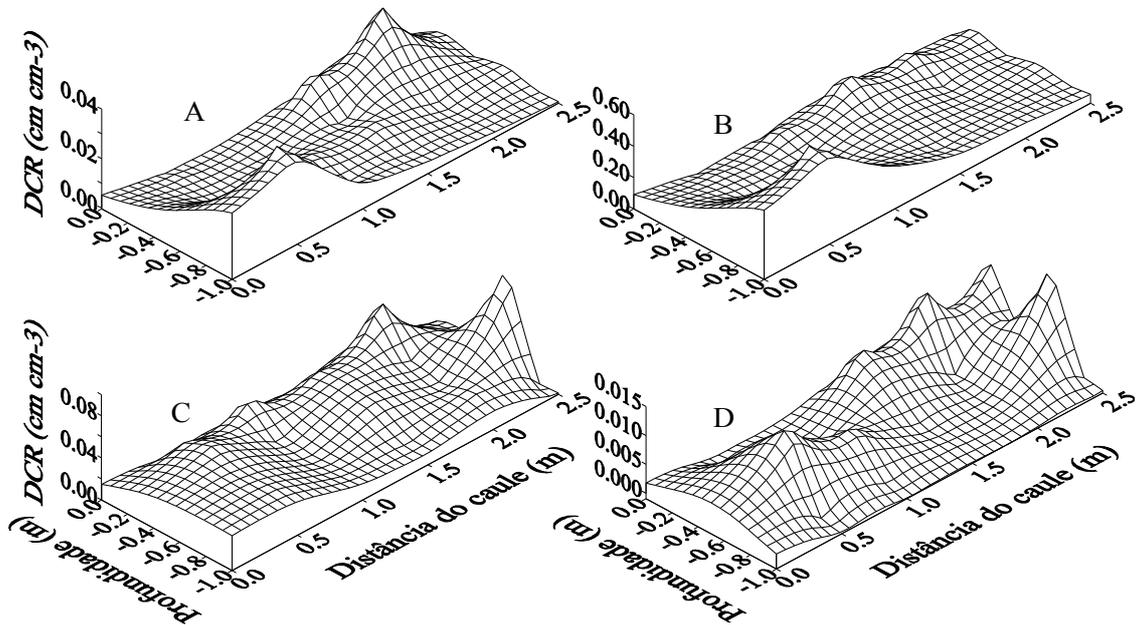
comprimento total de raízes da mangueira 'Haden' encontra-se até a distância de 1,75 m do caule da planta e que 70% do comprimento total encontra-se até 0,75 m de profundidade. Referente à distribuição de raízes a partir do caule da planta, os resultados obtidos neste trabalho corroboram com Santos (1997), ou seja, na vertical apresentam maior densidade de raízes dos 0,35 a 0,85 m de profundidade, representando 76% de todas as raízes quantificadas. Vale ressaltar que Santos (1997) usou a cultivar Haden com cinco anos de idade e, neste trabalho, a 'Tommy Atkins' estava com 12 anos de idade.



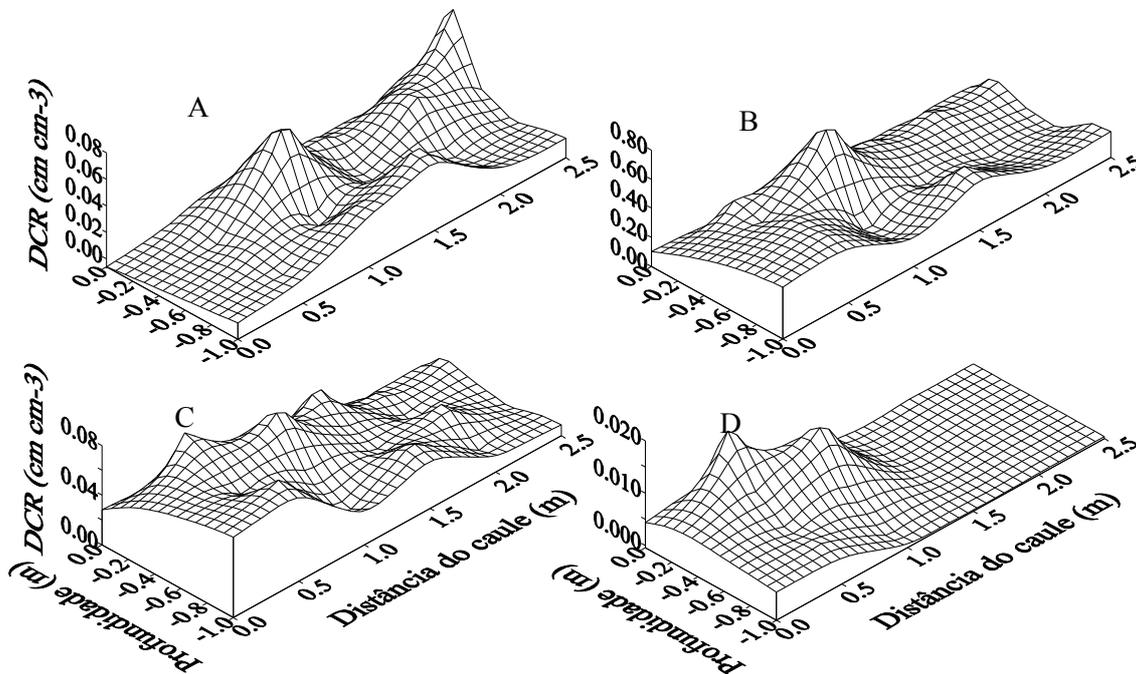
**Figura 21.** Distribuição de densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de mangueira 'Tommy Atkins' na direção longitudinal a fileira de plantas com irrigação (A) e sem irrigação (B).

Na ausência de irrigação (Figura 21B), a DCR é reduzida em todo o perfil, porém com melhor distribuição, tanto em distância do caule quanto em profundidade, quando comparado à DCR sob irrigação. Devido a contínua falta de água no solo, há contribuição para a menor turgidez das raízes, a qual, ocasiona a morte de muitas delas. Por outro lado, a DCR da cultura sob irrigação tende a ser maior no perfil com maior volume molhado e, sob microaspersão, a maior contribuição de área molhada fica encerrada nos primeiros metros de distância a partir do emissor (Figura 11).

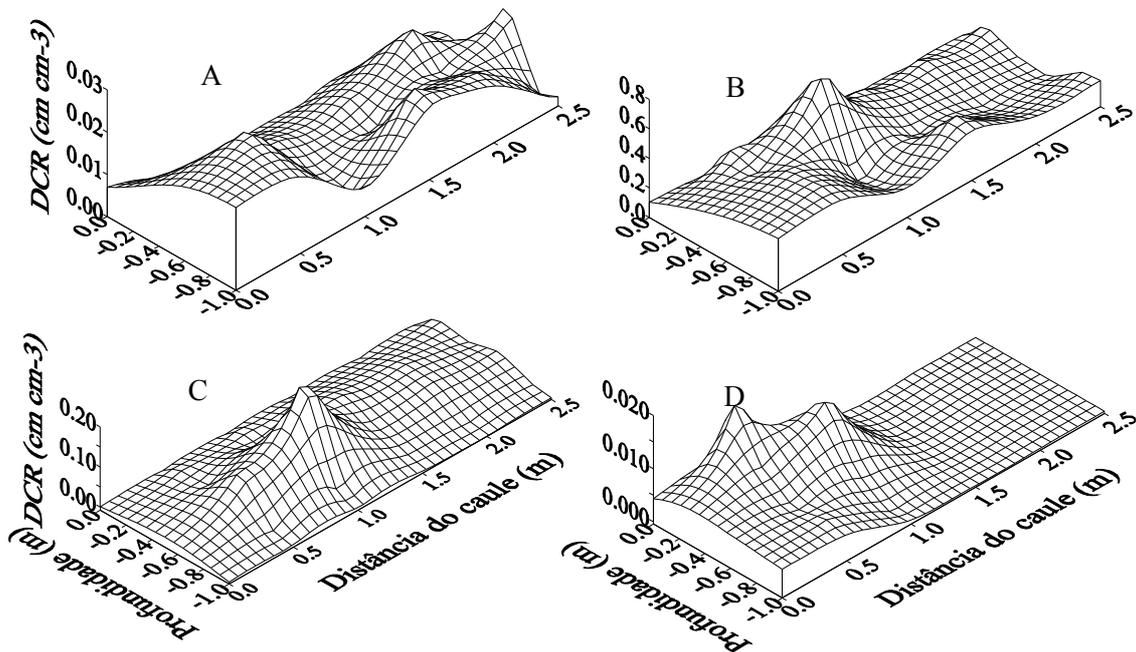
Nas Figuras 22, 23, 24, 25 e 26 é apresentada a densidade de comprimento de raízes (DCR) para diferentes classes de diâmetros para os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Observa-se que, em todos os tratamentos, há distribuição de raízes em todas as classes de diâmetros em todo o perfil, principalmente, para raízes muito finas (diâmetro inferior a 0,55 mm) e raízes finas (diâmetro compreendido a 0,55 e 2,05 mm), que são aquelas que mais contribuem com a absorção de água e nutrientes pela planta.



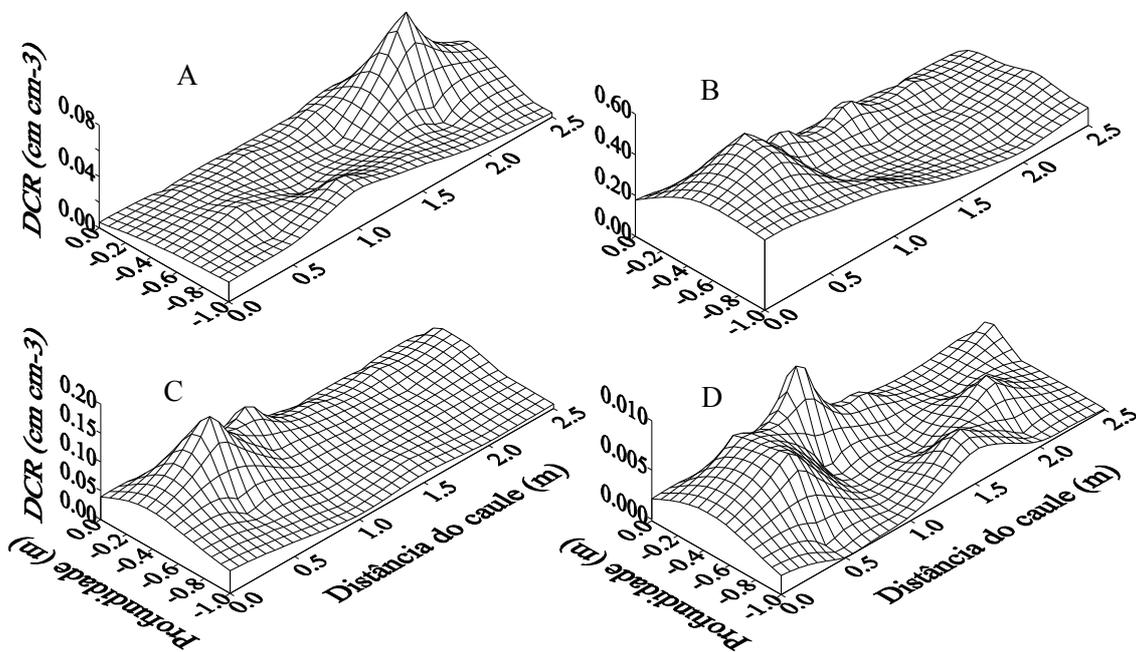
**Figura 22.** Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de mangueira 'Tommy Atkins' para o tratamento 1: raízes com diâmetros inferiores a 0,55 mm (A); raízes com diâmetros de 0,55 a 2,05 mm (B); raízes com diâmetros de 2,05 mm a 5,05 mm (C) e raízes com diâmetros superiores a 5,05 mm (D).



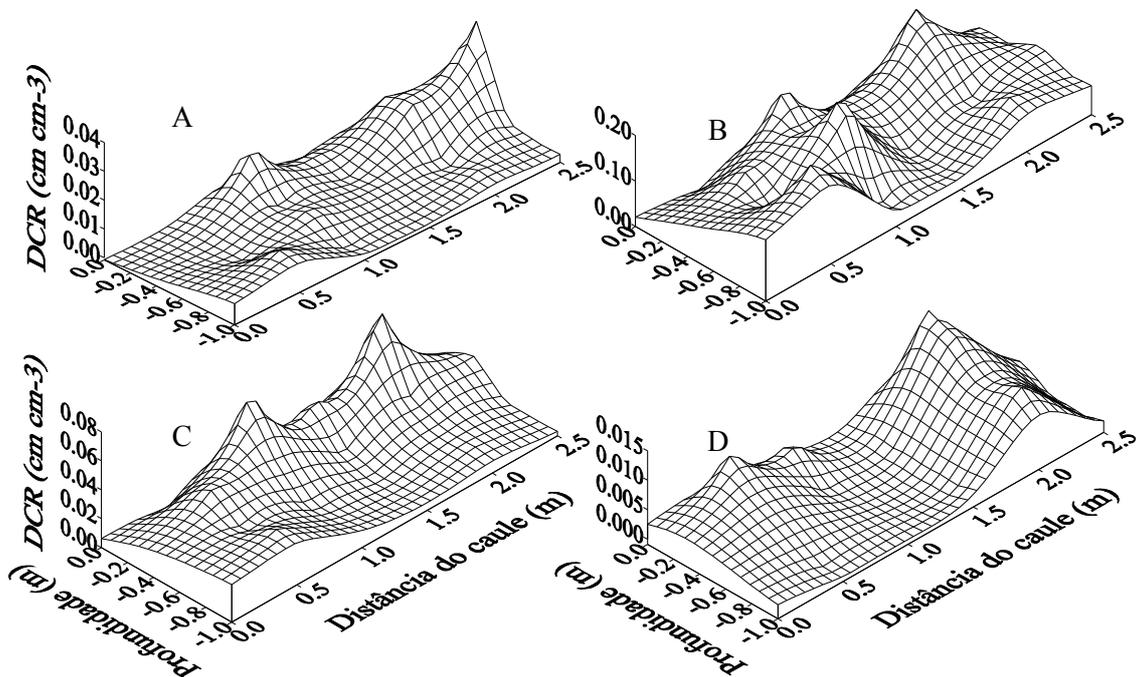
**Figura 23.** Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de mangueira 'Tommy Atkins' para o tratamento 2: raízes com diâmetros inferiores a 0,55 mm (A); raízes com diâmetros de 0,55 a 2,05 mm (B); raízes com diâmetros de 2,05 mm a 5,05 mm (C) e raízes com diâmetros superiores a 5,05 mm (D).



**Figura 24.** Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de mangueira 'Tommy Atkins' para o tratamento 3: raízes com diâmetros inferiores a 0,55 mm (A); raízes com diâmetros de 0,55 a 2,05 mm (B); raízes com diâmetros de 2,05 mm a 5,05 mm (C) e raízes com diâmetros superiores a 5,05 mm (D).

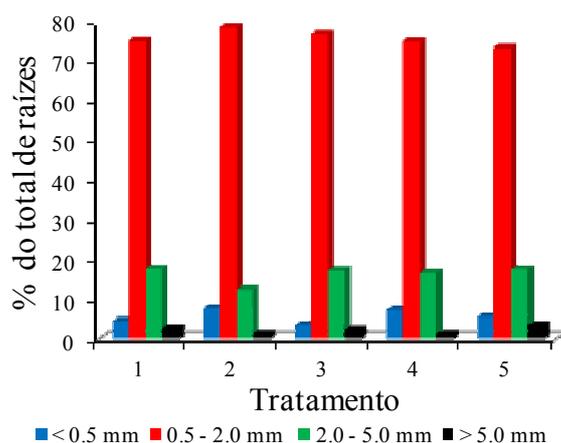


**Figura 25.** Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de mangueira 'Tommy Atkins' para o tratamento 4: raízes com diâmetros inferiores a 0,55 mm (A); raízes com diâmetros de 0,55 a 2,05 mm (B); raízes com diâmetros de 2,05 mm a 5,05 mm (C) e raízes com diâmetros superiores a 5,05 mm (D).



**Figura 26.** Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de mangueira 'Tommy Atkins' para o tratamento 5: raízes com diâmetros inferiores a 0,55 mm (A); raízes com diâmetros de 0,55 a 2,05 mm (B); raízes com diâmetros de 2,05 mm a 5,05 mm (C) e raízes com diâmetros superiores a 5,05 mm (D).

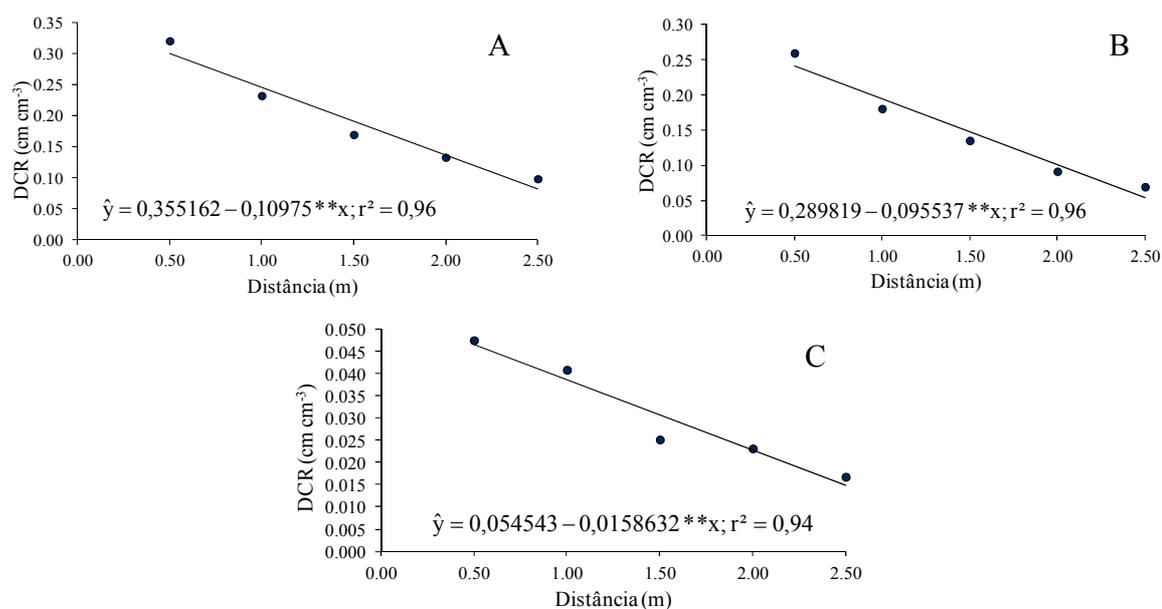
A percentagem do total de raízes para as diferentes classes de diâmetros e diferentes tratamentos é observada na Figura 27.



**Figura 27.** Percentagem de comprimento total de raízes de mangueira 'Tommy Atkins' para os diferentes tratamentos e para as diferentes classes de diâmetros.

A percentagem de raízes finas varia de 73,37%, para o tratamento 5, e a 78,63%, para o tratamento 2 (Figura 27). Para as raízes com diâmetros superiores a 5,00 mm, as percentagens são inferiores a 3,41%. Coelho et al. (2001) avaliaram a distribuição de raízes em mangueira 'Tommy Atkins' irrigada por microaspersão e encontraram 72,1% de raízes com diâmetros entre 0,50 e 2,00 mm e 13,2% de raízes com diâmetros maiores que 5,00 mm. Esses autores quantificaram as raízes a partir do caule e, no presente trabalho, as raízes foram quantificadas a partir de 0,50 m do caule, o que comprova que as raízes com diâmetros maiores estão localizadas mais próximas da raiz pivotante.

Independente da imposição hídrica, há redução na DCR total, DCR de raízes finas e DCR de raízes pequenas à medida que se distanciam do caule. Na Figura 28, constam os modelos de regressão para estimativa da DCR em função da distância horizontal do caule.

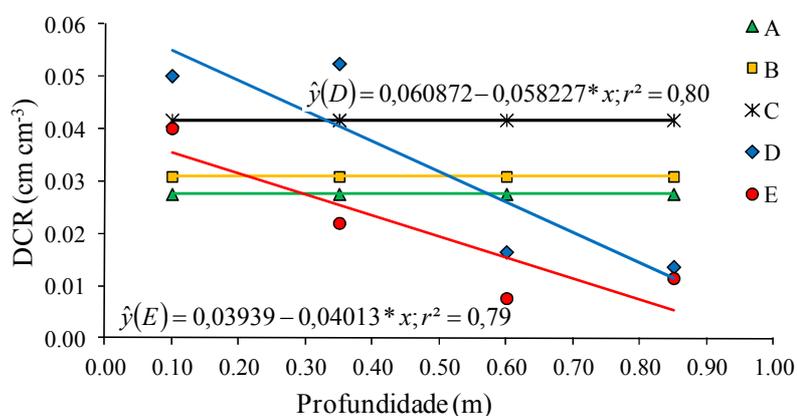


**Figura 28.** Densidade de comprimento de raízes, total médio (A), total finas (B) e total pequenas (C) em mangueira 'Tommy Atkins'.

Nota-se na Figura 28 que para a média de DCR total, de raízes finas e de raízes pequenas, o modelo linear apresentou bom ajuste com o regressor significativo a 1% de probabilidade. Isto indica que, para a DCR total, independentemente do tratamento, a cada 1,0 m que se distancia do caule entre 0,50 e 2,50 m, há uma redução de 0,11 cm de comprimento de raízes para cada 1 cm<sup>3</sup> de solo. Para as raízes finas, a cada 1,0 m que se distancia do caule, há uma redução de 0,10 cm de comprimento de raízes para cada 1 cm<sup>3</sup> de solo. E, para as raízes pequenas (diâmetros entre

2,05 a 5,05 mm), a cada 1,0 m que se distância do caule, há uma redução de 0,02 cm de comprimento de raízes para cada 1 cm<sup>3</sup> de solo.

Pela análise da distribuição vertical de DCR, percebe-se que houve diferenças significativas apenas para raízes pequenas nas variadas profundidades para os tratamentos 4 e 5. Para ambos os casos foi ajustado um modelo de regressão linear que estima a DCR de raízes pequenas em função da profundidade nos limites compreendidos entre 0,10 a 0,85 m (Figura 29). Para cada 10 cm de aprofundamento no solo até 0,85 m de profundidade, há uma redução na DCR de raízes pequenas de 0,06 cm para cada cm<sup>3</sup> de solo para o tratamento 4 e uma redução de 0,04 cm para cada cm<sup>3</sup> de solo para o tratamento 5.



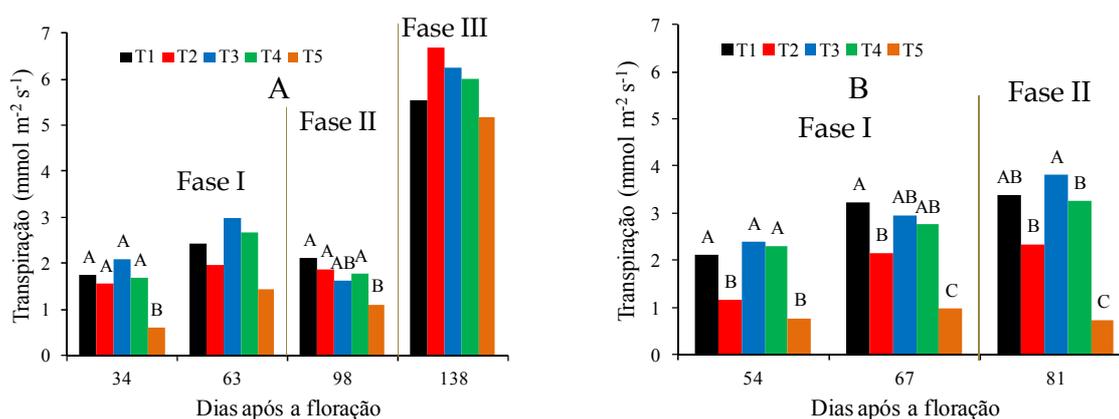
**Figura 29.** Densidade de comprimento de raízes pequenas para os tratamentos: 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E).

### 4.3. Trocas gasosas e temperatura foliar

#### 4.3.1. Transpiração

A variação da taxa de transpiração, nas três fases de desenvolvimento dos frutos, para os diferentes tratamentos, no primeiro e no segundo ciclo de avaliação, é apresentada na Figura 30. Nota-se que, na ausência de irrigação, a transpiração da mangueira apresentou valores inferiores aos demais tratamentos, diferindo significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan. No tratamento 1 e nos tratamentos com RDI, não houve diferenças significativas no primeiro ciclo de avaliação. Quando foi aplicada a RDI na primeira fase (T2), mesmo não ocorrendo diferenças significativas, a transpiração neste tratamento representou 26% no 34º dia após a floração e 34% no 63º dia após a floração da transpiração das plantas do tratamento 3. Na

segunda fase do primeiro ciclo de avaliação, a transpiração das plantas do tratamento 3 não diferiu do tratamento 5 pelo teste de Duncan. As transpirações do tratamento T3, mesmo sem diferir àquelas do tratamento 1, a redução foi de 24,2%, o que pode ser ocasionado pela aplicação da RDI a 50% da ETc na fase II.



**Figura 30.** Transpiração na mangueira ‘Tommy Atkins’ nos diferentes tratamentos para as três fases de avaliação no primeiro ciclo de avaliação (A) e no segundo ciclo de avaliação (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letra no grupo, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação (CV) para 34, 63, 98, 54, 67 e 81 dias após a floração conforme figura acima são 44.37, 41.69, 26.24, 20.34, 43.80, 30.85 e 34.15, respectivamente.

A partir dos 110 dias após a floração (fase III), no primeiro ciclo de avaliação, houve ocorrência de chuva na área, o que foi suficiente para elevar os níveis dos teores de água no solo. Isso provavelmente contribuiu para o aumento da taxa de transpiração das plantas. Pelo teste de Duncan, não houve diferenças nos valores de transpiração na fase entre os tratamentos.

No segundo ciclo de avaliação, no 54º dia após a floração, as transpirações nos tratamentos 2 e 5 foram as menores entre os tratamentos e não diferiram entre si pelo teste de Duncan ( $P < 0,05$ ); já os tratamentos 1, 3 e 4, sem déficit na fase I, que apresentaram maiores transpirações, diferiram estatisticamente dos tratamentos 2 e 5, mas não diferiam entre si.

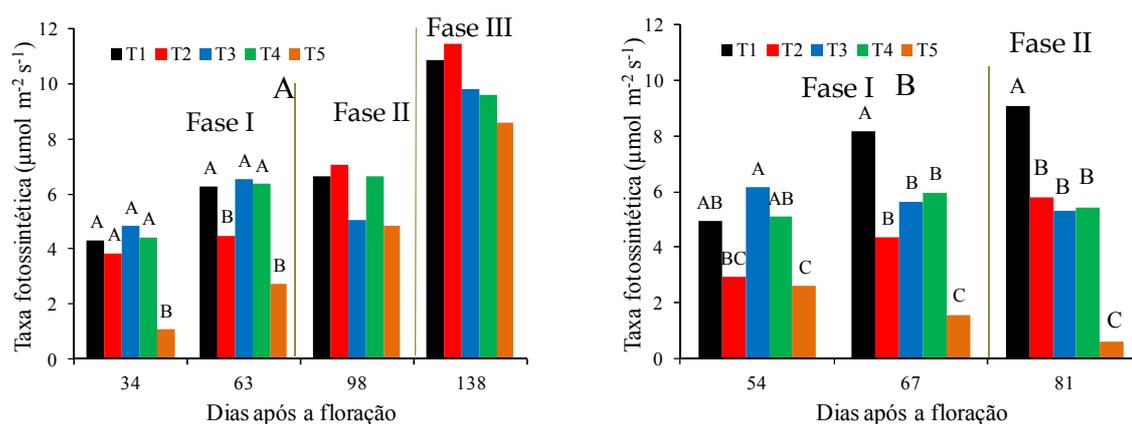
No 67º dia após a floração, o tratamento 5, com menor transpiração, diferiu dos demais pelo teste de Duncan ( $P < 0,05$ ) e o tratamento 2 diferiu do tratamento 1. No 81º dia após a floração, o tratamento sem irrigação, com menor transpiração, diferiu dos demais pelo teste de Duncan ( $P < 0,05$ ) e o tratamento 2 diferiu do tratamento 3.

De forma geral, a transpiração nas plantas com déficit hídrico total (T5, sem irrigação) e parcial (T2, RDI na fase I e T3, RDI na fase II) apresenta valores inferiores comparados aos tratamentos sem déficit hídrico e com déficit hídrico parcial na fase III, considerada menos sensível ao déficit hídrico.

Sob situação de boa disponibilidade de água, as plantas cultivadas, geralmente, apresentam altas taxas de transpiração (SALISBURY e ROSS, 1992). A redução na taxa transpiratória nas folhas das plantas, sob déficit hídrico, pode ser explicada pela adaptação da cultura em evitar perdas de água. Castro Neto (2003) ressalta que, à medida que a água do solo se torna escassa, a planta começa a reduzir sua taxa transpiratória para a diminuição da perda de água e economia da água disponível no solo. Isso se dá provavelmente pelo fechamento dos estômatos causado por um sinal emitido pelas raízes, síntese do hormônio vegetal ácido abscísico (ABA) e transporte para a parte aérea via xilema em resposta ao déficit hídrico no solo. Este mecanismo conserva a água na planta, mas interfere na assimilação de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, na produtividade (TAIZ e ZEIGER, 2009).

#### 4.3.2. Fotossíntese

A variação na taxa fotossintética entre os diferentes tratamentos, durante as três fases de avaliação, é verificada na Figura 31. No 34º dia após a floração, no primeiro ciclo de avaliação, houve diferenças significativas apenas entre o tratamento T5 (sem irrigação) e os demais. Já, no final da primeira fase, no 64º dia após a floração, o tratamento 2 apresentou taxa fotossintética igual à do tratamento T5. Nesta mesma mensuração, não houve diferenças na taxa fotossintética entre os tratamentos 3, 4, 1 e 2.



**Figura 31.** Taxa fotossintética das folhas de mangueira ‘Tommy Atkins’ nos diferentes tratamentos para as três fases de avaliação no primeiro (A) e no segundo ciclo de avaliação (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras no grupo, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação (CV) para 34, 63, 98, 54, 67 e 81 dias após a floração conforme figura acima são 43.02, 37.11, 35.17, 26.25, 41.14, 27.23 e 34.33, respectivamente.

Na segunda fase de expansão e crescimento dos frutos, o tratamento T3 apresentou um declínio na taxa fotossintética (Figura 31A), provavelmente, devido à aplicação da RDI nesta fase, enquanto, o tratamento 2 expressou elevação nos valores da taxa fotossintética. Não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos 2 e 3, pelo teste de Duncan, a nível de 5% de probabilidade, entretanto, houve variação na taxa fotossintética de 28,4% entre os tratamentos 2 e 3.

Nas mensurações realizadas na terceira fase, no 138º dia após a floração, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para taxa fotossintética. Provavelmente, a ocorrência de chuva na área influenciou a taxa fotossintética das plantas submetidas ao déficit hídrico, uma vez que as taxas de fotossíntese mensuradas pelo IRGA são pontuais. Estas variam com as condições ambientais, atmosféricas e umidade do solo, no momento da medida, o que pode não refletir com fidelidade o histórico experimentado pela planta.

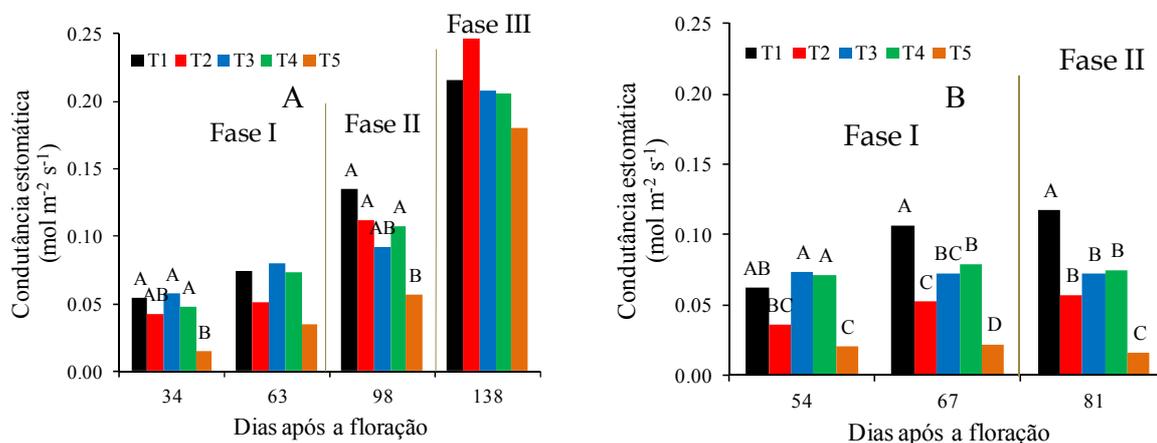
No segundo ciclo de avaliação, no 54º dia após a floração, a taxa fotossintética foi menor no tratamento 5. Não houve diferenças na taxa fotossintética entre os tratamentos 5 e 2. O tratamento 3, com maior taxa fotossintética, não diferiu pelo teste de Duncan ( $P < 0,05$ ) dos tratamentos 4 e 1. No 67º e 81º dia após a floração, o tratamento 1, com maior taxa fotossintética, diferiu dos demais tratamentos e o tratamento 5, com menor taxa fotossintética, diferiu dos tratamentos 1, 4, 3 e 2. Não houve diferenças entre os tratamentos 4, 3 e 2.

De forma geral, as diferenças significativas observadas entre as taxas de fotossíntese do tratamento sem irrigação (T5) e os demais tratamentos, com menores valores para o T5, podem ser atribuídas ao fechamento estomático provocado pelo déficit hídrico, pois este mecanismo conserva a água na planta, pela diminuição da transpiração, mas interfere de forma negativa na assimilação de  $\text{CO}_2$  (TAIZ e ZEIGER, 2009).

#### **4.3.3. Condutância estomática**

A condutância estomática expressou variações acentuadas, principalmente, entre o tratamento T5 e os demais (Figura 32A) no primeiro ciclo de avaliação. Não houve diferenças na condutância estomática entre o tratamento sem irrigação e o tratamento 2 (RDI 50% da ETc na fase I) na mensuração realizada no 34º dia após a floração. Entretanto, no 63º dia após a floração, não houve diferenças na condutância estomática entre os tratamentos. Nota-se que o tratamento

T5 (sem irrigação) apresentou menor valor de condutância estomática, provavelmente, pela condição hídrica da planta durante o período avaliado, que ocasionou fechamento estomático, consequentemente, aumenta a resistência estomática e decréscimo na condutância estomática.



**Figura 32.** Condutância estomática em plantas de mangueira ‘Tommy Atkins’ em diferentes tratamentos no primeiro (A) e no segundo ciclo de avaliação (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras no grupo, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação (CV) para 34, 63, 98, 54, 67 e 81 dias após a floração conforme figura acima são 53.92, 50.76, 34.66, 33.52, 45.61, 31.39 e 36.52, respectivamente.

De acordo com Flexas et al. (2006), quando a condutância estomática apresenta-se abaixo de  $0,1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , caracteriza uma condição de estresse hídrico acentuado. Mesmo sem irrigação, a condutância estomática apresentou valores superiores a  $0,1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , o que evidencia que o decréscimo do teor de água no solo não foi suficiente para ocasionar estresse hídrico acentuado, o qual pode ser uma característica inerente à cultura da mangueira. Este fato está em acordo com Castro Neto (1995 e 2003), concernente ao uso do estresse hídrico como promotor de indução floral em mangueira. Esse autor argumenta que a aplicação do estresse hídrico não tem sido realizada de maneira correta. O solo fica com bastante água ainda disponível para o crescimento vegetativo, o que constitui um dos principais entraves à floração. Esta discussão evidencia a tolerância da mangueira ao déficit hídrico, compatível com a sua origem botânica, pois pertence à família Anacardiaceae, na qual predominam espécies conhecidas pela tolerância à seca, a exemplo de umbuzeiro, aroeira e cajueiro.

Na fase II, novamente o T5 apresentou diferenças significativas em relação aos tratamentos 1, 2 e 4, não diferindo pelo teste de Duncan do tratamento 3 (RDI na fase II). Na fase III, entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, possivelmente pela ocorrência de chuvas.

De modo geral, não foram verificadas diferenças nos valores médios de condutância estomática entre o tratamento T1 e os tratamentos T2, T3 e T4 durante o ciclo da cultura, mesmo com existência de variação na lâmina de água aplicada no solo. Possivelmente, as limitações hídricas aplicadas às plantas não foram suficientes para provocar grandes variações na condutância estomática. Contudo, essa resposta não foi verificada quando a limitação hídrica foi acentuada, como observado no tratamento T5. Isto indica que, quando o déficit hídrico no solo não é muito acentuado, as variações da condutância estomática obedecem à mesma tendência das plantas sem o déficit hídrico. Bergonci et al. (2000), ao avaliarem a condutância estomática em milho, como indicador do déficit hídrico, confirmam essa observação.

No segundo ciclo de avaliação, o tratamento 3, com maior condutância estomática, não diferiu ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Duncan dos tratamentos 4 e 1 na fase I e o tratamento 5, com menor condutância estomática, não diferiu do tratamento 2. No 67º dia após a floração, o tratamento 1, com maior condutância estomática, diferiu dos demais. Não houve diferenças entre o tratamento 4 e 3, assim como entre os tratamentos 3 e 2. O tratamento 5, com menor condutância estomática, diferiu dos demais. No 81º dia após a floração, o tratamento 1 diferiu dos demais, não houve diferenças entre os tratamentos 4, 3 e 2 e o tratamento 5, com menor condutância estomática, diferiu dos demais.

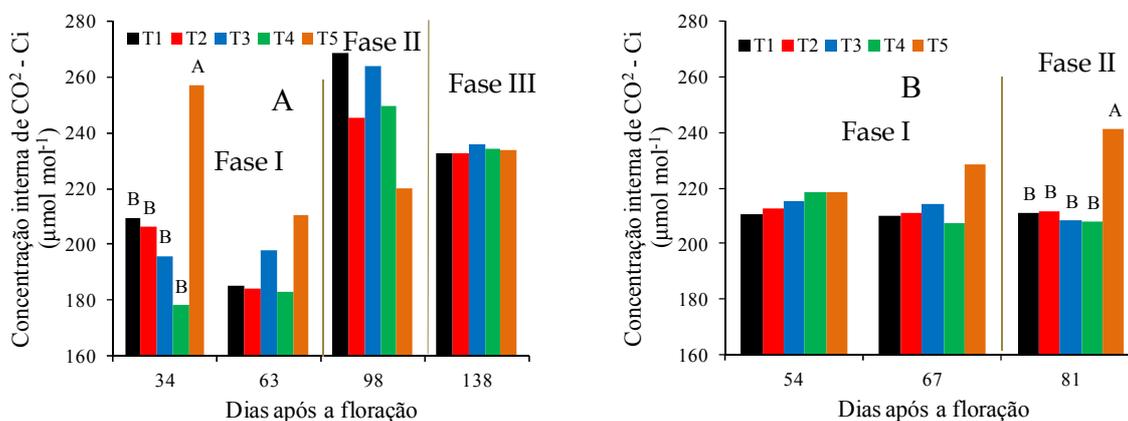
No segundo ciclo de avaliação, principalmente no final da fase I e início da fase II, houve diferenças na condutância estomática entre os tratamentos com RDI e o tratamento 1, o que não aconteceu no primeiro ciclo de avaliação em que houve diferença apenas entre T1 e T5. Esta variação pode ser explicada pelas condições de tempo no momento das mensurações, isto porque, no primeiro ciclo, as mensurações foram realizadas depois das dez horas da manhã e, no segundo ciclo, depois das quatorze horas.

#### **4.3.4. Concentração interna de CO<sub>2</sub>**

A concentração interna de CO<sub>2</sub>, na primeira avaliação da fase I (Figura 33A), foi afetada no T5, possivelmente, por danos no aparato fotossintético, fato que pode ter contribuído com o acúmulo de CO<sub>2</sub>. A maior concentração interna de CO<sub>2</sub> observada no tratamento T5 diferiu significativamente dos demais tratamentos, provavelmente, pelo fechamento estomático como pode ser observado na Figura 32A. Na segunda avaliação da fase I (Figura 33A), não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos. Normalmente, caso não ocorra queda

na atividade metabólica da fixação de CO<sub>2</sub>, observa-se uma redução na concentração interna de CO<sub>2</sub> associada a uma redução na condutância estomática (RASCHKE, 1979).

Subbarao et al. (1995) afirmam que o controle estomático é um dos mecanismos utilizados pela planta para minimizar as perdas de água. Contudo, apesar de permitir uma menor perda de água, causa redução da assimilação de CO<sub>2</sub> (fotossíntese), fato que foi observado neste estudo. O fechamento estomático diminui a entrada de CO<sub>2</sub>, portanto, diminui a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, o que pode não causar decréscimo na concentração interna de CO<sub>2</sub>. Assim, a redução na condutância estomática para valores próximos a 0,1 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> provocou redução nas taxas de fotossíntese, porém não causou redução na concentração interna de CO<sub>2</sub> que, por sua vez, não apresentou valores inferiores a 150 μmol mol<sup>-1</sup> (Figura 33).



**Figura 33.** Concentração interna de carbono em plantas de mangueira 'Tommy Atkins' em diferentes tratamentos no primeiro (A) e no segundo ciclo de avaliação (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras no grupo, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação (CV) para 34, 63, 98, 54, 67 e 81 dias após a floração conforme figura acima são 17.40, 11.22, 12.34, 3.79, 5.03, 6.61 e 6.58, respectivamente.

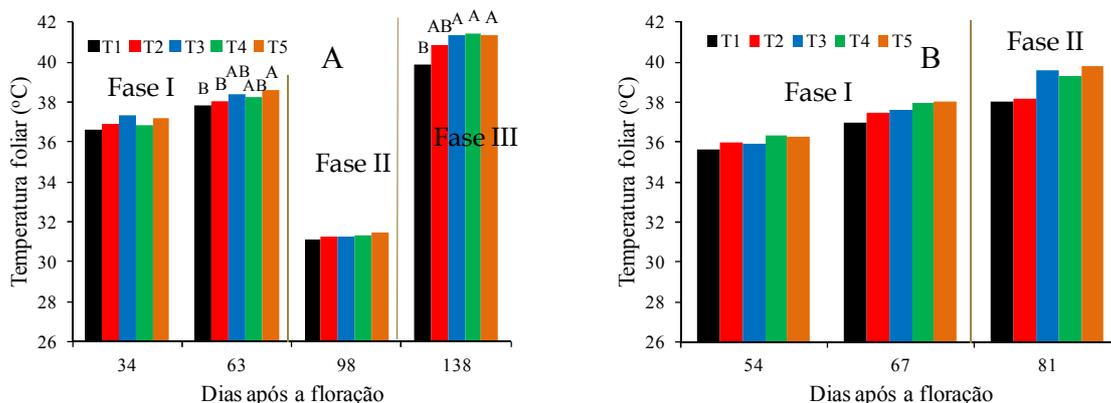
Durante a fase I, houve quedas nas concentrações para os tratamentos 1, 2 e 5 e estabilização para os tratamentos 3 e 4. A partir do final da fase I e início da fase II, houve um aumento para todos os tratamentos. Essa característica pode ser explicada por alguma condição que favoreceu as plantas dos tratamentos T5, T2 e T1 e limitou a expressão de enzimas da etapa bioquímica da fotossíntese dos outros tratamentos. Pereira et al. (2004), que trabalharam com tomateiro em condições salinas, relataram que não encontraram respostas para redução na fotossíntese relacionadas à diminuição na aquisição de CO<sub>2</sub> pelo fechamento estomático. Entretanto, chamam atenção para limitações outras, não estomáticas, que podem ocorrer como indicados pelo aumento na concentração interna de carbono.

Na fase III, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, possivelmente, devido à ocorrência de chuvas nos dias que antecederam as avaliações, apesar da tendência de aumento na concentração interna de carbono no tratamento T5 e a relação inversa nos demais tratamentos.

No segundo ciclo de avaliação, não houve diferenças entre os tratamentos, a concentração interna de CO<sub>2</sub> no 54º e 67º dia após a floração. No entanto, no 81º dia após a floração, o tratamento 5 diferiu dos demais (P<0,05) pelo teste de Duncan, provavelmente, este aumento foi ocasionado pelo fechamento estomático como pode ser observado na Figura 32A.

#### 4.3.5. Temperatura foliar

A variação observada na temperatura foliar nas três fases de produção para os diferentes tratamentos é apresentada na Figura 34.



**Figura 34.** Temperatura foliar em plantas de mangueira ‘Tommy Atkins’ submetidas a diferentes tratamentos e fases de avaliação. Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras no grupo, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação (CV) para 34, 63, 98, 54, 67 e 81 dias após a floração conforme figura acima são 1.31, 1.12, 0.73, 2.25, 3.20, 2.15 e 3.10, respectivamente.

Não houve diferenças significativas na temperatura foliar entre os tratamentos no primeiro período de avaliação da fase I. No segundo período de avaliação da fase I, entretanto, foram observadas diferenças significativas; os tratamentos T1, T2, T3 e T4 não diferiram entre si pelo teste de Duncan. O tratamento 5, com maior temperatura foliar, diferiu significativamente dos tratamentos 1 e 2, mas não diferiu dos tratamentos 3 e 4. Na fase II, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, possivelmente, devido ao tempo estar com muitas nuvens, o que limitou a interceptação de radiação solar pelas folhas, o qual contribuiu para a

redução na temperatura foliar em todos os tratamentos. Na última fase de avaliação (fase III), observaram-se, nas folhas das plantas do tratamento T1, as menores temperaturas quando comparadas às folhas dos demais tratamentos (T3, T4 e T5).

A partir dos 110 dias após a floração (fase III) no primeiro ciclo, houve ocorrência de chuva na área, sendo suficiente para elevar os níveis de água no solo, contudo, não foi suficiente para alterar a temperatura foliar das plantas dos tratamentos com RDI.

No segundo ciclo de avaliação, não houve diferenças significativas na temperatura foliar entre os tratamentos nas três mensurações realizadas. Entretanto, verifica-se que, sem irrigação, as plantas apresentam variação de 4,37% maior que no tratamento com irrigação plena na temperatura foliar.

Silva et al. (2012), ao realizarem análise sobre o comportamento do ciclo diurno da temperatura do ar e das folhas da mangueira ‘Tommy Atkins’, em condições irrigada e de estresse hídrico, verificaram que a temperatura do dossel vegetativo da mangueira apresentou um padrão de comportamento similar em condições irrigada e de estresse hídrico, sendo que, sob irrigação, as temperaturas foliares foram menores em valores absolutos, comparadas às plantas sob estresse hídrico, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

Quando o déficit hídrico no solo provoca o fechamento dos estômatos, a radiação interceptada pela folha tende a promover um aquecimento foliar, por meio do qual a temperatura foliar pode subir 4 a 5 °C acima da temperatura ambiente (MAGGIOTTO, 1996). A alta temperatura foliar pode chegar a níveis prejudiciais ao metabolismo da planta (TAIZ e ZEIGER, 2009) e provocar diminuição na taxa fotossintética, redução na atividade enzimática e até a desnaturação de enzimas (HALE e ORCUTT, 1987). Mesmo não havendo diferenças significativas na temperatura foliar entre os tratamentos de déficit hídrico parcial com o tratamento de irrigação plena, nota-se que, em valores absolutos, as plantas submetidas ao déficit hídrico apresentam temperaturas foliares maiores e, conforme Hale e Orcutt (1987), este aumento contribuiu para redução na taxa fotossintética, como observado anteriormente.

De forma geral, as temperaturas registradas no tratamento com irrigação plena foram menores. Esse menor aquecimento, ou melhor refrigeração, registrado nas folhas das plantas sob irrigação plena, é devido à perda de calor evaporativo (calor latente) que ocorre porque a evaporação da água requer energia. No ambiente, folhas sob estresses por temperatura supraótima e, por radiação excessiva, necessitam dissipar grandes quantidades de calor, o que pode ser feito

pela emissão de radiação de ondas longas (emissão de infravermelho), pela perda de calor sensível e pela perda de calor latente (TAIZ e ZEIGER, 2009). A razão entre as perdas de calor sensível e evaporativo é denominada razão de Bowen. Em cultivos bem irrigados, a transpiração das plantas é alta (SALISBURY e ROSS, 1992), o que diminui, assim, a razão de Bowen e, conseqüentemente, a temperatura das folhas.

O comportamento ecofisiológico é resultante do balanço dos diversos fatores ambientais e não de um único fator. A temperatura ótima para a carboxilação do CO<sub>2</sub> pela enzima rubisco, ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase é 22 °C. Essa enzima predomina em plantas com mecanismo fotossintético C<sub>3</sub>, como a mangueira. Lima Filho et al. (2002), em sua revisão, relatam que temperaturas de até 30 °C dia e 20 °C noite conferem maiores taxas de fotossíntese em mangueira. O balanço entre as atividades carboxilase e oxigenase da rubisco é governado pelas propriedades cinéticas da enzima, temperatura e concentração dos substratos CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Sob concentração de CO<sub>2</sub> ambiental, um aumento na temperatura modifica as constantes cinéticas da rubisco e aumenta a taxa de oxigenação, preferencialmente, a carboxilação (TAIZ e ZEIGER, 2009), isto é, aumenta a fotorrespiração com decréscimo na taxa de fotossíntese líquida da planta. De forma geral, abaixo de 30 °C, a produtividade quântica da fotossíntese, mol de CO<sub>2</sub> fixado por quantum absorvido, em plantas C<sub>3</sub> é normalmente elevada e, acima desse limite, apresenta queda significativa.

#### **4.4. Número de frutos**

Os números de frutos da mangueira ‘Tommy Atkins’ para os diferentes tratamentos são verificados na Tabela 5. A média do número de frutos diferiu entre os tratamentos para as classes 300, 400, 500, 600 e 700. Para a classe de peso 300, o tratamento 4, com maior número de frutos, diferiu dos demais (P<0,05) pelo teste de Duncan. Com a mesma estatística, para a classe de peso 400, o número de frutos foi maior no tratamento 4 e não diferiu do tratamento 1. Na mesma classe, os tratamentos 5 e 2, com menor número de frutos, diferiram dos tratamentos 4, 1 e 3. Para a classe de peso 500, o tratamento 4, com maior número de frutos, não diferiu dos tratamentos 1 e 3 e o tratamento 5, com menor número de frutos, diferiu dos demais. Houve diferenças significativas para a classe de peso 600 entre o tratamento 5 e os demais. Na classe de peso 700, os tratamentos 1 e 2 apresentaram maior número de frutos.

**Tabela 5.** Números de frutos por hectare por classe e números de frutos total por hectare para os diferentes tratamentos em mangueira ‘Tommy Atkins’. Valores representam as médias dos dois ciclos de avaliação

Parâmetros	Tratamentos					CV (%)
	1	2	3	4	5	
Classe 100	286,00	377,00	364,00	585,00	377,00	
Classe 200	1456,00	1183,00	1716,00	2496,00	1833,00	
Classe 300	5889,00 B	3718,00 B	5564,00 B	9464,00 A	3471,00 B	
Classe 400	14768,00 AB	7787,00 C	12779,00 B	18954,00 A	4355,00 C	
Classe 500	13988,00 A	9321,00 B	10972,00 AB	14521,00 A	1963,00 C	
Classe 600	4927,00 A	4680,00 A	3796,00 A	4732,00 A	520,00 B	
Classe 700	1157,00 A	1157,00 A	767,00 AB	650,00 AB	39,00 B	
Classe 800	169,00	325,00	156,00	260,00	0,00	
Total	42640,00 AB	28548,00 C	36114,00 BC	51662,00 A	12558,00 D	32,83

Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Os números de frutos por hectare nas classes de peso 100 e 300 foram maiores no primeiro ciclo de avaliação e, nas classes superiores a 500, os números de frutos foram maiores no segundo ciclo de avaliação (Tabela 6). Antes de iniciar o experimento, o pomar havia passado por dois anos sem o manejo fitotécnico bem como o manejo da irrigação, isto provavelmente influenciou no esgotamento de reservas para a constituição de frutos maiores na próxima safra, onde, no ano seguinte, a cultura produziu mais para as classes de pesos inferiores a 400. Por outro lado, com o contínuo manejo, no segundo ciclo de avaliação, o maior número de frutos foi nas classes de peso maior ou igual a 500. Considerando o número total de frutos, este foi maior no segundo ciclo de avaliação, entretanto, não houve diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Duncan.

**Tabela 6.** Números de frutos por classe de peso e números de frutos total em mangueira ‘Tommy Atkins’ para os ciclos 1 e 2 de avaliação

Parâmetros	Ano 1	Ano 2	CV
Classe 100	608,40 A	187,20 B	108,89
Classe 200	2147,60	1326,00	82,05
Classe 300	6973,20 A	4269,20 B	57,47
Classe 400	12521,60	19035,60	47,77
Classe 500	8803,60 B	11502,40 A	42,88
Classe 600	2475,20 B	4986,80 A	53,66
Classe 700	390,00 B	1118,00 A	132,50
Classe 800	36,40 B	327,60 A	199,32
Total	33956,00	34652,80	32,83

Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

#### 4.5. Produtividade

As produtividades da mangueira 'Tommy Atkins', para os diferentes tratamentos, são apresentadas na Tabela 7. Verifica-se que a produtividade foi maior quando aplicou a RDI com 50% da ETc na terceira fase (Tratamento 4) comparado aos tratamentos 2, 3 e 5 e similar ao tratamento 1, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Esse comportamento é justificado, pois a fase que vai do final do crescimento à maturação fisiológica dos frutos é menos sensível ao déficit hídrico comparada às outras fases em que se aplicou RDI.

**Tabela 7.** Produtividade (t ha<sup>-1</sup>) total e por classes de peso de fruto de mangueira 'Tommy Atkins' para os diferentes tratamentos considerando os dois ciclos de avaliação

Parâmetros	Tratamentos					CV (%)
	1	2	3	4	5	
Classe 100	0,05	0,06	0,06	0,10	0,06	
Classe 200	0,39	0,31	0,44	0,64	0,49	
Classe 300	2,10 B	1,32 B	1,99 B	3,38 A	1,22 B	
Classe 400	6,70 AB	3,50 C	5,28 B	8,55 A	1,93 C	
Classe 500	7,60 A	5,07 B	5,95 AB	7,85 A	1,07 C	
Classe 600	3,15 A	2,99 A	2,43 A	2,51 A	0,32 B	
Classe 700	0,85 A	0,85 A	0,57 AB	0,48 AB	0,03 B	
Classe 800	0,14	0,28	0,13	0,22	0,00	
Total	20,97 AB	14,37 C	17,33 BC	24,20 A	5,10 D	31,24

Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Ao se considerar a média dos dois ciclos de avaliação (Tabela 7), o tratamento 4, com produtividade 15,40% maior, foi similar estatisticamente ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Duncan ao tratamento 1. Vale ressaltar que o tratamento 4 incorre em economia de água e energia, o que contribui para decréscimo no custo de produção. Adicionalmente, mesmo sem diferenças estatísticas, para o produtor, este aumento percentual de produção pode ser considerável na comercialização dos frutos em épocas de melhores preços. Já, quando a RDI a 50% da ETc é aplicada na fase de pegamento dos frutos (T2), há redução significativas de 31,47% na produtividade total. Sem irrigação, a produtividade média nos dois ciclos de avaliação foi de 5,10 t ha<sup>-1</sup>, diferindo significativamente dos demais tratamentos com irrigação. Taiz e Zeiger (2009) ressaltam que as plantas sob déficit hídrico sofrem perturbações nas relações hídricas, na absorção de nutrientes, inibição no crescimento, no ciclo fenológico, na fotossíntese e, conseqüentemente, no rendimento. Esse fato é comprovado no presente trabalho, pois as plantas sem irrigação apresentaram menores taxas de fotossíntese e menor produtividade.

DaMatta (2007) ressalta que a redução na produção está associada a um declínio nas taxas fotossintéticas, as quais, em grande parte, são induzidas pela baixa disponibilidade de água no solo, seja por um efeito direto da desidratação sobre o aparato fotossintético ou por um efeito indireto por meio de fechamento dos estômatos, o que restringe a absorção de CO<sub>2</sub>. Observa-se na Figura 31 que a taxa fotossintética nas folhas das plantas dos tratamentos 5 e 2 apresentam valores inferiores aos demais tratamentos, principalmente, na fase de pegamento dos frutos e o tratamento 3 com menor taxa fotossintética na fase de expansão do fruto. Ao verificar as produtividades nos tratamentos 5, 2 e 3, notam-se reduções significativas, as quais podem ser explicadas pelas baixas taxas fotossintéticas, conforme DaMatta (2007).

Estudos sobre os efeitos da seca sobre o desempenho das culturas são complicados (DAMATTA, 2007), porque o rendimento da cultura pode ser afetado mais diretamente pela menor área foliar que pela redução na taxa fotossintética folha por unidade área durante e após os eventos de seca. Adicionalmente, as taxas de fotossíntese representam mais a situação de momento, reflexo das condições ambientais, em vez de refletirem o histórico de estresse experimentado pela planta.

Estes resultados diferem daqueles encontrados por Cotrim (2009), que não observou diferenças significativas a 5% de probabilidade na produtividade da mangueira 'Tommy Atkins' entre tratamentos com 100, 80, 60, 40 e 30% da ETc, tanto sob microaspersão quanto sob gotejamento nos anos de 2006 e 2007 na mesma área do presente trabalho. No ano de 2007, Cotrim (2009) encontrou produtividades de manga Tommy Atkins de 34,22; 44,29; 30,93; 34,84; 32,46; 31,58; 29,14 e 24,90 t ha<sup>-1</sup> para os tratamentos 100% da ETc nas três fases, 60% da ETc na fase I, 60% da ETc na fase II, 60% da ETc na fase III, 30% da ETc na fase I, 30% da ETc na fase II, 30% da ETc na fase III e sem irrigação, respectivamente. Como no presente trabalho não houve a interferência do lençol freático, a produtividade respondeu diferentemente aos tratamentos aplicados.

Ao se considerarem as produtividades por classe nos dois ciclos de avaliação (Tabela 7), a média de produtividade diferiu entre os tratamentos para as classes 300, 400, 500, 600 e 700. Para a classe de peso 300, o tratamento 4, com maior produtividade, diferiu dos demais (P<0,05) pelo teste de Duncan. Com a mesma estatística, para a classe de peso 400, a produtividade foi maior no tratamento 4, não diferindo do tratamento 1. Na mesma classe, o tratamento 5 e 2, com menor produtividade, diferiram dos tratamentos 4, 1 e 3. Para a classe de peso 500, o tratamento

4, com maior produtividade, não diferiu do tratamento 1, porém, ambos diferiram dos tratamentos 2 e 5. Houve diferenças significativas para a classe de peso 600 entre o tratamento 5 e os demais. Na classe de peso 700, os tratamentos 1 e 2 apresentaram maior produtividade.

Em seu trabalho com RDI, Cotrim (2009) não encontrou diferenças significativas a 5% de probabilidade na produtividade da mangueira 'Tommy Atkins' entre os tratamentos de 100, 80, 60, 40 e 30% da ETc, tanto sob microaspersão quanto sob gotejamento nos anos de 2006 e 2007, nesta mesma localidade. Portanto, as maiores produtividades foram para classe de peso compreendida entre 321 g a 530 g. Corrobora-se com os resultados obtidos neste trabalho por meio dos quais a produtividade nas classes de peso entre 300 a 600g representou 84,35%; 79,35; 82,16; 85,57 e 86,49% do total para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. Ao se considerar a produtividade para frutos nas classes compreendidas entre 300 a 700g, os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 apresentaram: 19,55; 12,88; 15,65; 20,29 e 4,54 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Manica et al. (2001) ressaltam que a média de massa da manga Tommy Atkins é de 444,1 a 713,7 g. Corrobora-se com os resultados obtidos neste trabalho, nos quais, os tratamentos com melhor regime hídrico contribuíram para maiores produtividades nas classes de maiores pesos.

Diante dos resultados, nota-se que o uso da RDI com 50% da ETc na maturação fisiológica dos frutos de mangueira 'Tommy Atkins' proporciona melhores classes de peso dos frutos no que se refere à demanda dos principais mercados consumidores estrangeiros (ARAUJO, 2004).

As produtividades nas classes de peso 100 e 300 foram maiores no primeiro ciclo de avaliação e, nas classes superiores a 500, as produtividades foram maiores no segundo ciclo de avaliação (Tabela 8). Essa variação na produtividade é explicada pelo maior número de frutos no primeiro ciclo para as classes inferiores a 300 e de maior número de frutos no segundo ciclo para classes superiores a 500. Entretanto, não houve diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Duncan para produtividade total entre os ciclos de produção.

**Tabela 8.** Produtividades médias por classes de peso e produtividade total para os ciclos 1 e 2 de avaliação

Parâmetros	Ciclo 1	Ciclo 2	CV
Classe 100	0,099 A	0,032 B	109,95
Classe 200	0,548	0,354	84,63
Classe 300	2,477 A	1,523 B	58,07
Classe 400	5,606	4,968	48,07
Classe 500	4,744 B	6,268 A	42,93
Classe 600	1,563 B	3,191 A	53,80
Classe 700	0,286 B	0,822 A	132,82
Classe 800	0,030 B	0,276 A	201,96
Total	15,353	17,434	31,24

#### 4.6. Eficiência de uso da água

A eficiência de uso da água pela mangueira 'Tommy Atkins' foi influenciada pelo uso da RDI (Tabela 9). Considerando a média dos dois ciclos, a mais adequada eficiência de uso da água pela cultura é quando adota o uso da RDI com 50% da ETc na terceira fase de desenvolvimento dos frutos da mangueira. O uso da RDI, com 50% da ETc na fase de pegamento dos frutos (tratamento 2), ocasionou redução na produtividade e, conseqüentemente, redução na eficiência de uso da água, o que diferiu do tratamento 4 a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan no primeiro ciclo de avaliação. Ao se considerarem os dois ciclos de avaliação, o tratamento 4, com maior eficiência, diferiu dos demais.

**Tabela 9.** Eficiência de uso (EUA) da água para os diferentes tratamentos no primeiro ciclo, no segundo ciclo e para a média dos dois ciclos de avaliação

EUA (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	Tratamentos					CV (%)
	1	2	3	4	5	
Primeiro ciclo	51,93 AB	40,65 B	56,52 AB	68,34 A	-	25,67
Segundo ciclo	56,08	54,75	52,35	69,35	-	28,25
Média	54,00 B	47,70 B	54,43 B	68,84 A	-	25,37

Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Resultados similares, com diferentes regimes de irrigação, foram encontrados por Silva et al. (2009) na mangueira 'Tommy Atkins' na região de Petrolina, PE, e por Spreer et al. (2009) em mangueira 'Chok Anan' no Norte da Tailândia. Silva et al. (2009) observaram que a eficiência de uso da água foi influenciada pelo teor de água no solo e que a eficiência no uso da água, na região

estudada, pode ser melhorada ao se programar a irrigação com 90% de ETo. Já Spreer et al. (2009) ressaltam que uma irrigação deficitária de 30 a 50 % resulta em uso eficiente alto e grande economia de água.

Diante dos resultados, verifica-se que a RDI traz resultados satisfatórios, tanto na economia de água como na maximização da produtividade. Estes dados, portanto, corroboram com Coelho Filho e Coelho (2005), Spreer et al. (2007, 2009) e Silva et al. (2009).

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que:

- A extração de água, independente do tratamento, ocorre principalmente a distâncias inferiores a 1,50 m do caule e nos primeiros 0,50 m de profundidade.
- A maior densidade de comprimento de raízes (DCR) está compreendida de 0,00 a 1,00 m de distância do caule e 0,20 a 0,90 m de profundidade.
- A fase de maturação fisiológica do fruto é a mais apropriada para a utilização da RDI na cultura da mangueira, sem prejuízo na produtividade.
- O déficit hídrico total ou parcial no solo ocasiona redução na taxa fotossintética, na transpiração e na condutância estomática das folhas da mangueira ‘Tommy Atkins’.
- Mangueiras ‘Tommy Atkins’, sob irrigação plena, expressam temperaturas foliares mais baixas.
- O déficit hídrico parcial no solo não ocasiona alterações significativas na concentração interna de CO<sub>2</sub>.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

A contínua realização de trabalhos, no que diz respeito a estratégias de irrigação, é de fundamental importância, principalmente, em regiões com escassez e/ou má distribuição de água, como no nordeste brasileiro, onde a demanda deste recurso sempre é maior que a sua disponibilidade. Neste contexto, a avaliação da RDI com diferente reposição de água, conforme a evapotranspiração da cultura, após a fase de pegamento dos frutos na produtividade, eficiência de uso da água, parâmetros ecofisiológicos, são pontos indicados para pesquisa científica numa conotação de disponibilidade de informações práticas e precisas ao produtor e numa visão ampla de sustentabilidade socioeconômica e ambiental.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>>. Acesso em: 5 jun. 2012.
- ALBUQUERQUE, J. A. S.; MOUCO, M. A. C.; MEDINA, V. D.; SANTOS, C. R.; TAVARES, S. C. C. H. **O cultivo da mangueira irrigada no Semi-Árido Brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido; VALEXPOR, 1999. 77p.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANGELOCCI, L. R. **Estimativa da transpiração máxima de macieiras (*Malus spp.*) em pomares, pelo método de Penman-Monteith**. Piracicaba, 1996. 71p. Tese (Livre-Docência) - ESALQ/USP.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2011. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2011. 128 p.
- ARAÚJO, J. L. P. **Custos de produção e rentabilidade da manga**. Cultivo da Mangueira. Embrapa Semi-Árido Sistemas de Produção, 2 ISSN 1807-0027 Versão Eletrônica. 2004.
- AVILAN, L. A.; ALVAREZ, C. R. El mango. Caracas: Editorial America, 1990. 401p.
- BALLY, I. S. E.; HARRIS, M.; WHILEY, A. W. Effect of water stress on flowering and yield of 'Kensington Pride' mango (*Mangifera indica* L.). **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.509, p.277-282, 2000.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G.; SANTOS, A. O. Condutância foliar como um indicador de déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.27-34, 2000.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. v. 1. 625 p.
- CASTO NETO, M. T. EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO NA TRANSPIRAÇÃO E RESISTÊNCIA ESTOMÁTICA DA MANGUEIRA. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 1, p. 93-95. 2003.
- CASTO NETO, M. T.; COELHO, E. F.; CUNHA, G. A. P. Tratos culturais. In: **Manga. Produção: aspectos técnicos**. Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA), p.31-34, 2000.
- CASTO NETO, M. T. Aspectos Fisiológicos da Mangueira sob condições irrigadas. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido (Petrolina, PE) **Informações Técnicas sobre a cultura da Manga no semi-árido brasileiro**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995. 173p.
- CHEN, W.S. Endogenous growth substances in relation to shoot growth and flower bud development in mango, **J.Amer.Soc.Hort.Sci.**, 112, 360, 1987.

CLARK, D. A. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. **Philosophical Transactions of The Royal Society of London**, v.359, n.1443, p.477-491, 2004.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, A. P. **Irrigação da mangueira em condição de semi-árido brasileiro**. Cruz das Almas, Ba: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2007. 34 p. (Documentos).

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAUJO, 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 – SP, v. 23, n. 2, p. 250 – 256, 2001.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. S.; NETO, A. O. A.; TEIXEIRA, A. E. C.; ARAÚJO, E. C. E.; BASSOI, L. H. Irrigação. In: GENU, P. J. C & PINTO, A. C. Q. (Ed.) **A cultura da mangueira**, cap. 9, Brasília, 2002. p. 167-189.

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F.; AGUIAR NETO, A. O.; OLIVERIA, A. A. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, Ba. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48 p. 23,5 cm. (Embrapa Circular Técnica, 40).

COELHO, E. F.; OR, D. Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.206, p.123-136, 1999a.

COELHO, E. F.; OR, D. Modelo de distribuição de água e de potencial matricial no solo sob gotejamento com extração de água por raízes, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n. 2, p. 225-234, fev. 1999b.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. **Irrigação da mangueira**. Cruz das Almas, Ba: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2007. 07 p. (Embrapa Circular Técnica, 87).

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. CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15, Teresina, 2005, **Anais**. Teresina, ABID, 2005.

CORTÉS, C. F.; OLALLA, F. M. S.; URREA, R. L. Production of garlic (*Allium sativum* L) under controlled deficit irrigation in semi-arid climate. **Agricultural Water Management**. v 59, p155–167. 2003.

COTRIM, C. E.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; RAMOS, M. M. CECON, P. R. Regulated deficit irrigation and Tommy Atkins mango orchard productivity under microsprinkling in brazilian semi arid. **Eng. Agrícola**, vol. 31, p1052-1063. 2011.

COTRIM, C. E. **Otimização da irrigação localizada em pomares de manga no semi-árido baiano**. – Tese de Doutorado – UFV, Viçosa, 2009. 164f. 29 cm.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. vol.29, nº 01 Viçosa. 2005.

CUEVAS, J.; CANETE, M. L.; PINILLOS, V.; ZAPATA, A. J.; FERNANDEZ, M. D.; GONZALEZ, M.; HUESO, J. J. Optimal dates for RDI in ‘Algerie’ loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl) cultivated in southeast Spain. **Agricultural Water Management**. v 89, p131–136. 2007.

- CUI, N.; DU, T., KANG, S.; LI, F. ZHANG, J.; WANG, M.; LI, Z. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees. **agricultural water management**, v.95, p.489 – 497, 2008.
- CUNHA, G. A. P.; QUEIROZ PINTO, A. C.; FERREIRA, F. R. Origem, Dispersão, Taxonomia e Botânica. In: GENU, P. J. C. & QUEIROZ PINTO, A. C. **A cultura da Mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 452 p. 2002.
- DAMATTA, F. M. Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. **Braz. J. Plant Physiol.** 19 (4): 239-244, 2007.
- DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. Análise Química do Solo (Metodologia). **Boletim de extensão**. 2ª edição, Nº 29, 26 p. 1997.
- DOORRENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33, 1979). Versão em português – 2. Ed. Campina Grande, Dep. Eng. Agrícola, UFPB, 2000. 221 p.
- DOORRENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24, 1977). Versão em português. Campina Grande, Dep. Eng. Agrícola, UFPB, 1997. 204 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01\\_193\\_762006134828.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01_193_762006134828.html). Acesso em: 5 jun. 2012.
- EMBRAPA. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed., Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p.
- FABEIRO, C.; OLALLA, F.M.S.; LÓPEZ, R.; DOMÍNGUEZ, A. Production and quality of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, v.62, p.215–227. 2003.
- FABEIRO, C.; OLALLA, F. M. S.; JUAN, J. A. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **agricultural water management**, v.54, p.93 – 105, 2002.
- FERREYRA E., R.; SELLES V., G.; PERALTA A., J.; BURGOS R., L.; VALENZUELA B., J. Efectos de la restricción del riego en distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Cabernet Sauvignon sobre producción y calidad del vino. **Agricultura Técnica**, Santiago de Chile, v. 62, n. 3, p. 406-417, 2002.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; MEDRADO, H.; RIBAS-CARBÓ, M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.127, p.343-352, 2006.
- FONSECA, N.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S. Paclobutrazol e Estresse Hídrico no Florescimento e Produção da Mangueira (*Mangifera indica* L.) ‘Tommy Atkins’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 21-24. 2005.
- GELLY, M.; RECANSENS, I.; GIRANA, J.; MATA, M. ARBONES, A.; RUTAT, J.; MARSAL, J. Effects of stage II and post-harvest deficit irrigation on peach quality during maturation and after cold storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 84 (6), p. 561–568. 2004.

- GHOLZ, H. L.; EWEL, K. C.; TESKEY, R. O. Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v.30, n.1, p.1-18, 1990.
- GONZÁLEZ, A. M.; BONACHELA, S.; FERNÁNDEZ, M. D. Regulated deficit irrigation in green bean and watermelon greenhouse crops. **Scientia Horticulturae**, v.122, p. 527–531, 2009.
- GOODWIN, I.; BOLAND, A. M. Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizing water use efficiency In. **Deficit Irrigation Practices, Water Reports**, n. 22, p. 67-78, 2000. Roma, FAO, 2000.
- HALE, M. G. ORCUTT, D. M. **The physiology of plants under stress**. New York: John Welley, 206p. 1987.
- IBGE-SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 mai. 2012.
- INIESTA, F.; TESTI, L.; ORGAZ, F.; VILLALOBOS, F. J. The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. **European Journal of Agronomy**, v. 30, p. 258–265, 2009.
- JONES, C. A. **C4 Grasses and Cereals: Growth, Development and Stress Response**. New York: John Wiley & Sons, 419 p. 1985.
- KANG, S.; SHI, W.; ZHANG, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**, v. 67, p. 207-214, 2000.
- KASPAR, T. C.; EWING, R. P. Rootedge: software for measuring root length from desktop scanner images. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, p. 932-940, 1997.
- LIMA, D. M.; COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M.; ALVES, A. A. C.; TAKAHASHI, R. Floração e crescimento do fruto de manga sob diferentes níveis de irrigação em condições semi-áridas In. CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, Fortaleza, 2001, **Anais**. Fortaleza: ABID, 2001. p. 137-141.
- LIMA FILHO, J. M. P.; SOARES, J. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Alguns aspectos fisiológicos da mangueira em condições irrigada e de estresse hídrico. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/152790/1/OPB778.pdf>. Acesso em: 20 Abr. 2012.
- LIMA NETO, F. P.; SANTOS, C. A. F.; COSTA, J. G. **Cultivo da mangueira: Cultivares**. Embrapa Semiárido Sistemas de Produção, 2 - 2ª edição. ISSN 1807-0027. Versão Eletrônica. 2010.
- MAGGIOTTO, S. R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. Piracicaba, SP: Esalq-USP, 71 p. 1996.
- MANICA, I. Clima e solo. In: MANICA, I.; ICUMA, I. M.; MALAVOLTA, E.; RAMOS, V. H. V.; OLIVEIRA JUNIOR, M. E. CUNHA, M. M.; JUNQUEIRA, N. T. V. **Manga: Tecnologia, Produção, Pós-colheita, Agroindústria e Exportação**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001.
- MARSAL, J.; RAPOPORT, H. F.; MANRIQUE, T.; GIRONA, J. Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees. **Scientia Horticulturae**, v.85, p. 243-259, 2008.

- McCARTHY. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines. In: **Deficit Irrigation Practices, Water Reports**, n. 22, p. 79-87, 2000. Roma, FAO, 2000.
- Mc DERMID, D. K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, Alexandria, v.25, n.12, p.1538-48, 1990.
- MOUCO, M. A. C.; ALBUQUERQUE, J. A. S. Efeito do paclobutrazol em duas épocas de produção da mangueira. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.2, p.219-225, 2005.
- OLALLA, F. M. S.; PADILLA, A. D.; LÓPEZ, R. Production and quality of the onion crop (*Allium cepa* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, v. 68, p. 77–89, 2004.
- OLIVEIRA, J. M. C.; ANJOS, A. P. A. Frutas da Bahia: desempenho e perspectivas. **Bahia Agrícola**, v.8, n. 2, nov. 2008.
- OLIVEIRA, F. C.; COELHO, E. F.; VASCONCELOS, L. F. L.; ARAÚJO, E. C. E. Produção de manga sob diferentes regimes de irrigação, em condições subúmidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.390-396, 2002.
- PAÇO, M. T. G. A. **Modelação da evapotranspiração em cobertos descontínuos. Programação da rega em pomar de pessegueiro**. Lisboa, 2003. 227 f. Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- PEREIRA, F. H. F.; DALMÁCIO, E. N.; SOARES, D. C.; OLIVA, M. A. Crescimento, acúmulo de biomassa e potencial osmótico na parte aérea e radicular de plantas de tomateiro submetidas a condições salinas. In: **Congresso Brasileiro de Olericultura**, 2004, Campo Grande. Horticultura Brasileira. Brasília/DF: SOB, 2004. v. 22.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PEREIRA JUNIOR, J. S. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Centro de Documentação e Informação. Brasília, DF. 24 p. 2007.
- QUEIROZ PINTO, A. C.; COSTA, J. C.; SANTOS, C. A. F. Principais Variedades. In: GENU, P. J. C. & QUEIROZ PINTO, A. C. **A cultura da Mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 452 p. 2002.
- RASCHKE, K. Movements using turgor mechanisms: Movements of stomata. In: HAUPT, W.; FEINLEIB, M. E. (Ed.). **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. v.7, p.383-441.
- REICCHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, **Planta e Atmosfera: conceitos, Processos e Aplicações**. Barueri. SP: Manole, 2004. 478 p.
- RIBEIRO, R. V. **Influência da temperatura na fotossíntese de laranja ‘Pera’ com clorose variegada dos citros**. Dissertação de Mestrado – ESALQ, Piracicaba, 2002. 58p.
- ROCHA, A. M. S.; MORAES, J. A. P. V. Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 9(1): 41-46. 1997.

SAEG. **Sistema para análises estatísticas**. Versão 9.1. CD. ROM. Viçosa: FUBARBE, UFV, 2007. [CD.ROM]

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. The photosynthesis-transpiration compromise. In: SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4 nd. California: Wadsworth, 1992. p.66-92.

SAMPAIO, H. R.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; DANIEL, R.; MACHADO, V. V.; CARVALHO, G. C.; SANTANA JUNIOR, E. B. Déficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 10, p. 1141-1148, 2010.

SANTOS, M. R.; ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A. Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 34, p. 299-308, 2010.

SANTOS, C. A. S. **Distribuição espacial e absorção de água pelo sistema radicular da cultura da manga (*Mangifera indica* L) irrigada por microaspersão**. ESALQ/USP, Piracicaba, SP. 1997. 54 p. (Dissertação de Mestrado)

SAVIĆ, S.; STIKIĆ, R.; RADOVIĆ, B. V.; BOGIČEVIĆ, B.; JOVANOVIĆ, Z.; ŠUKALOVIĆ, V. H. T. Comparative effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) on growth and cell wall peroxidase activity in tomato fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 117, p. 15–20, 2008.

SCHAFFER, B.; WHILEY, A. W.; CRANE, J. H. Mango. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Ed.) **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Florida: CRC Press, 1994. cap. 8, p. 165-197.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; TEIXEIRA, A. H. C.; LIMA FILHO, J. M. P.; SOARES, J. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Alguns aspectos fisiológicos da mangueira em condições irrigada e de estresse hídrico. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/152790/1/OPB778.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2012.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. da et al. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico do solo. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, set./dez. 2001, vol.5, no.3, p.456-462, 2001.

SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, v.120, p. 467–472, 2009.

SILVA, J. A. M. **Irrigação lateralmente alternada e com déficit controlado na videira cv. Petite Syrah**. Viçosa, MG, UFV, 2005. 92 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. Avaliação de sondas de TDR para medidas da condutividade elétrica aparente e da umidade. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005, Canoas. **Resumos**, Canoas: SBEA, 2005. CD-Rom.

SIMÃO, A. H.; MANTOVANI, E. C.; SIMÃO, F. R. Irrigação e Fertirrigação na cultura da mangueira. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H. A. A.;

- ZAMBOLIM, L.. (Org.). Manga: **Produção integrada, industrialização e comercialização**. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2004, v. único, p. 233-302
- SIMÃO, S. **Manual de fruticultura**. São Paulo, Ceres. 530p., 1971.
- SIMÕES, W. L.; COLEHO, E. F.; COLEHO FILHO, M. A. Extração de água pelas raízes da mangueira sob irrigação por microaspersão em condições semi-áridas. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15, Teresina. **Anais**. Viçosa: ABID, 2005. (CD-ROM)
- SPREER, W.; ONGPRASERT, S.; HEGELE, M.; WUNSCH, J. N.; MULLER, J. Yield and fruit development in mango (*Mangifera indica* L. cv. Chok Anan) under different irrigation regimes. **Agricultural water management**, v.96, p. 574 – 584, 2009.
- SPREER, W.; NAGLE, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.; ONGPRASERT, S.; MULLER, J. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. ‘Chok Anan’). **Agricultural water management**, v.88, p.173–180, 2007.
- SUBBARAO, G. V. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. **Critical Reviews in Plant Science**, London, v.14, p.469-529, 1995.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.
- THORPE, M. R. Photosynthesis and transpiration of an isolated tree: model and validation. **Plant, Cell and Environment**. v.1, p.269-277, 1978.
- van GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F.J.; YATES, S. R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Riverside, U. S. Salinity Laboratory, 1991. 85p.
- WAMPLE, R. L. Regulated deficit irrigation as a water management strategy in *Vitis vinifera* production. In. **Deficit Irrigation Practices, Water Reports**, n. 22, p. 89-100, 2000. Roma, FAO, 2000.

## 8. APÊNDICE

### Número de fruto

**Tabela A1.** Números de frutos por classe e números de frutos totais para os diferentes tratamentos no primeiro ciclo de avaliação

Parâmetros	Tratamentos					CV (%)
	1	2	3	4	5	
Classe 100	442,00	624,00	624,00	858,00	494,00	
Classe 200	1768,00	1586,00	2262,00	3900,00	1222,00	
Classe 300	7358,00 B	5252,00 B	6526,00 B	12584,00 A	3146,00 B	
Classe 400	16042,00 AB	8554,00 CD	13494,00 BC	20774,00 A	3744,00 D	
Classe 500	12350,00 A	7332,00 B	10946,00 AB	11778,00 A	1612,00 C	
Classe 600	3250,00 A	2548,00 A	2964,00 A	3276,00 A	338,00 B	
Classe 700	598,00	468,00	650,00	234,00	0,00	
Classe 800	26,00	52,00	78,00	26,00	0,00	
Total	41834,00 AB	26416,00 C	37544,00 BC	53430,00 A	10556,00 D	31,30

Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

**Tabela A2.** Números de frutos por classe e números de frutos totais para os diferentes tratamentos no segundo ciclo de avaliação

Parâmetros	Tratamentos					CV (%)
	1	2	3	4	5	
Classe 100	130,00	130,00	104,00	312,00	260,00	
Classe 200	1144,00	780,00	1170,00	1092,00	2444,00	
Classe 300	4420,00	2184,00	4602,00	6344,00	3796,00	
Classe 400	13494,00 AB	7020,00 B	12064,00 AB	17134,00 A	4966,00 B	
Classe 500	15626,00 A	11310,00 A	10998,00 A	17264,00 A	2314,00 B	
Classe 600	6604,00 A	6812,00 A	4628,00 A	6188,00 A	702,00 B	
Classe 700	1716,00	1846,00	884,00	1066,00	78,00	
Classe 800	312,00	598,00	234,00	494,00	0,00	
Total	43446,00 AB	30680,00 B	34684,00 AB	49894,00 A	14560,00 C	36,97

Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

**Tabela A3.** Produtividade total e por classes de peso de fruto para os diferentes tratamentos no primeiro ciclo de avaliação

Parâmetros	Tratamentos					CV (%)
	1	2	3	4	5	
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	Classe 100	0,07	0,10	0,10	0,14	0,08
	Classe 200	0,47	0,40	0,56	0,99	0,31
	Classe 300	2,61 B	1,86 B	2,33 B	4,47 A	1,10 B
	Classe 400	7,25 AB	3,80 CD	6,05 BC	9,28 A	1,66 D
	Classe 500	6,67 A	3,97 B	5,90 AB	6,30 AB	0,87 C
	Classe 600	2,06 A	1,61 A	1,89 A	2,07 A	0,18 B
	Classe 700	0,44	0,35	0,48	0,17	0,00
	Classe 800	0,02	0,04	0,06	0,02	0,00
	Total	19,60 AB	12,14 C	17,39 BC	23,44 A	4,20 D

Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

**Tabela A4.** Produtividade total e por classes de peso de fruto para os diferentes tratamentos no segundo ciclo de avaliação

Parâmetros	Tratamentos					CV (%)
	1	2	3	4	5	
Classe 100	0,02	0,02	0,02	0,05	0,04	
Classe 200	0,30	0,21	0,31	0,28	0,67	
Classe 300	1,59	0,78	1,64	2,28	1,33	
Classe 400	6,15 AB	3,20 BC	4,50 ABC	7,81 A	2,19 C	
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> ) Classe 500	8,52 A	6,17 A	6,00 A	9,39 A	1,26 B	
Classe 600	4,24 A	4,37 A	2,96 A	2,94 A	0,45 B	
Classe 700	1,26	1,355	0,66	0,78	0,06	
Classe 800	0,26	0,51	0,20	0,42	0,00	
Total	22,34 AB	16,60 B	17,27 B	24,95 A	6,00 C	34,44

Médias seguidas da mesma letra maiúscula ou sem letras na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.