

WELSON LIMA SIMÕES

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE MICROASPERSÃO NA
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E NAS RESPOSTAS
MORFOFISIOLÓGICAS DO *Citrus latifolia* TANAKA SOBRE O PORTA-
ENXERTO *Citrus limonia* OSBECK**

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
2007**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

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

T

S232a Simões, Welson Lima, 1977 –

Influência de diferentes sistemas de microaspersão na distribuição de água no solo e nas respostas morfofisiológicas do *Citrus latifolia* Tanaka sobre o porta-enxerto *Citrus limonia* Osbeck / Welson Lima Simões – Viçosa : UFV, 2007.

10x. : il.

Orientador: Mauro Aparecido Martinez

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Lima ácida Tahiti. 2. Reflectometria no Domínio do Tempo.
 3. Fluxo de Seiva. 4. Transpiração. 5. Solos – Umidade.
- I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 634.42587

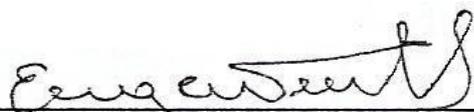
CDD 20.ed. 634.42587

WELSON LIMA SIMÕES

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE MICROASPERSÃO NA
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E NAS RESPOSTAS
MORFOFISIOLÓGICAS DO *Citrus latifolia* TANAKA SOBRE O PORTA-
ENXERTO *Citrus limonia* OSBECK**

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: 24 de julho de 2007.



Dr. Eugênio Ferreira Coelho
(Co-Orientador)

Prof. Márcio Mota Ramos

Prof. Marco Oliva Cano

Prof. Paulo José Hamakawa

Prof. Mauro Aparecido Martinez
(Orientador)

A Deus,

pela saúde e força a mim concedidas para continuar a vida.

AGRADEÇO

Aos meus pais José Cunha Simões, Maria Souza Lima Simões.

Aos meus irmãos Luziane Lima Simões e Gabriel Lima Simões.

À minha esposa Daniela Miranda de Lima Simões.

A todos os meus amigos e familiares.

DEDICO

Aos produtores rurais e à com

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por iluminar meus caminhos.

Aos meus pais, pelo amor, força e incentivo ao longo de toda a minha vida.

Aos meus irmãos Luziane e Gabriel, pelo carinho, companheirismo e amizade.

À minha esposa Daniela, pela presença incondicional, dedicação e auxílio durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Mauro Aparecido Martinez e ao Pesquisador Eugênio Ferreira Coelho, pela convivência, orientação e amizade.

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

A todos os funcionários e professores do DEA, pelo convívio diário durante a realização do curso e pelo precioso conhecimento transmitido.

Aos meus co-orientadores Rubens Alves de Oliveira e Paulo Roberto Cecon, pela valiosa orientação e colaboração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (EMBRAPA-CNPMPF), pela grande parceria, viabilização de equipamentos e técnicos para a realização do meu experimento; ao grupo de pesquisa em Irrigação e Fertirrigação, pela colaboração do pesquisador Maurício Coelho e dos colegas de trabalho Tibério, Tacísio, Lúcio, Roque, Marcelo, Alisson, Lucas, Julival e Zé Cafua.

Ao Centro Tecnológico do Norte de Minas Gerais (CTNM), pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), por oportunizar a realização da pesquisa na sua instituição. E ao apoio dos seus funcionários Marco Antônio, Edio Costa, Zilton, Davi e João Felix, que colaboraram expressivamente na condução do trabalho.

Ao CT-Hidro/CNPq, pelo apoio financeiro, por intermédio do projeto “Otimização do uso da água em fruteiras do semi-árido”.

Aos Professores Márcio Mota Ramos, Marco Oliva Cano e Paulo José Hamakawa, membros da banca examinadora, pelas valiosas sugestões e observações.

Aos meus amigos e colegas de curso Solerne, Delfran, Rafael, Luis Gustavo, Fernando, Wallisson, Emanuelle, Denise, Jair, Carlos Brasileiro, Marcelo, Salomão, José Alberto, Zonta, Luizinho e Alisson, aos Laboratoristas Chicão e Eduardo e demais contemporâneos, pela convivência e companheirismo.

A todos aqueles que colaboraram de alguma forma para o cumprimento desta etapa da minha vida.

BIOGRAFIA

WELSON LIMA SIMÕES, filho de José Cunha Simões e Maria Souza Lima Simões, nasceu na cidade de Valente, BA, em 10 de junho de 1977.

Em março de 1992, iniciou seus estudos no curso de Magistério, nível médio, em sua terra natal, concluindo-o em dezembro 1994. Em março de 1994 havia iniciado o curso de Contabilidade, também nível médio, o qual foi concluído em dezembro de 1995. Entre os anos de 1995 e 1996, trabalhou na Empresa de Pequenos Agricultores do Estado da Bahia (APAEB).

Em março de 1997, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, em Cruz das Almas, BA, concluindo-o em fevereiro de 2002. Durante três anos desse período, estagiou na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropécuaria (EMBRAPA – CNPMF) e oito meses na Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA).

Em março de 2002, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2004.

Em março de 2004, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2007.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Características da lima ácida ‘Tahiti’	3
2.2. Características dos frutos	4
2.3. Influência das características hídricas e ambientais sob a transpiração da planta	5
2.4. Distribuição do sistema radicular da lima ácida ‘Tahiti’	13
2.5. Resposta fisiológica da planta às condições hídricas do solo	16
2.6. Manejo da irrigação na cultura do limão	17
2.7. Balanço hídrico em pomares de lima ácida ‘Tahiti’	19
2.8. Métodos de determinação do teor de água do solo	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Características climáticas e de solo da área experimental	24
3.2. Delineamento experimental	27
3.3. Condução do experimento	27
3.4. Determinação da distribuição de água e das zonas de absorção de água pela planta no perfil do solo	28
3.5. Fluxo de seiva	32
3.6. Mapeamento do sistema radicular da lima ácida ‘Tahiti’	34
3.7. Medidas fisiológicas	36
3.8. Produtividade e características avaliadas dos frutos	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Distribuição de água pelos microaspersores	38
4.2. Distribuição de água no solo	39
4.4. Distribuição de raízes	57
4.5. Fluxo de Seiva	64
4.6. Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf})	73
4.7. Temperatura foliar	77
4.8. Condutância Estomática	83

4.9. Transpiração foliar	88
4.10. Avaliação dos parâmetros biométricos e de produtividade.....	93
4.11. Características físico-químicas dos frutos.....	96
5. CONCLUSÕES	103
6. REFERÊNCIAS	104

RESUMO

SIMÕES, Welson Lima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2007. **Influência de diferentes sistemas de microaspersão na distribuição de água no solo e nas respostas morfofisiológicas do *Citrus latifolia* Tanaka sobre o porta-enxerto *Citrus limonia* Osbeck.** Orientador: Mauro Aparecido Martinez. Co-Orientadores: Eugênio Ferreira Coelho, Rubens Alves de Oliveira e Paulo Roberto Cecon.

O sistema de irrigação tem-se tornado fator decisivo na maximização da produção da lima ácida ‘Tahiti’, principalmente nas regiões mais secas, uma vez que a ocorrência de *deficit* hídrico em plantas cultivadas afeta seu crescimento e desenvolvimento. No caso de fruteiras irrigadas sob sistema de microaspersão, as características dos emissores de água e a sua localização em relação à planta influenciam o perfil de distribuição de água disponível, alterando sua absorção pelas raízes. Dessa forma, objetivou-se, com este trabalho, avaliar a influência de diferentes sistemas de microaspersão na distribuição de água no solo e nas respostas morfofisiológicas do *Citrus latifolia* Tanaka sobre o porta-enxerto *Citrus limonia* Osbeck. Foram feitas avaliações da extração de água pela planta, da distribuição efetiva do sistema radicular, do fluxo diário de seiva, da transpiração, da temperatura foliar, da condutância estomática e do potencial hídrico foliar, nas fases de floração e frutificação, além da produtividade e da qualidade dos frutos. O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental da EPAMIG, situada em Jaíba, no extremo norte do Estado de Minas Gerais. A cultura utilizada foi a lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tanaka), enxertada sobre limão-cravo, com 4 anos de idade, plantada no espaçamento de 5 x 7 m e irrigada por microaspersão com turno de rega diário. O solo do local é classificado como Neossolo Quartzarênico, e o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três tratamentos e seis repetições. Foram avaliadas três disposições de microaspersores: T1 – um microaspersor por planta, localizado entre plantas ao longo da fileira, com vazão de 35 L h⁻¹; T2 – um microaspersor para duas plantas, localizado ao longo da fileira, com vazão de 70 L h⁻¹; e T3 – um microaspersor por planta, localizado a 0,3 m da planta, com vazão de 35 L h⁻¹. No campo, duas trincheiras foram feitas próximas de uma planta de lima ácida ‘Tahiti’, para uma planta útil por tratamento, 60 dias antes do início das avaliações de campo. As trincheiras foram abertas nas direções longitudinal e transversal às linhas de plantio, partindo-se da planta

até 2,5 m de distância e da superfície do solo até 1,0 m de profundidade e com subsequente instalação de sondas de TDR de 0,10 m de comprimento de hastes. Leituras de umidade foram feitas por meio de um equipamento de TDR100, durante 3 dias de solo descoberto e 3 dias de solo coberto após a irrigação, com leituras a cada 10 min, para avaliar a distribuição de água disponível no solo e extraída pela planta entre irrigações. Avaliaram-se, durante as fases de floração e de frutificação, o curso diário do fluxo de seiva pelo método de balanço de calor caulinar e as variáveis transpiração, condutância estomática, potencial hídrico e temperatura foliar, às 8, 11, 15 e 17 h, sendo o potencial hídrico aferido também às 5 h. As amostras de raízes foram coletadas após a colheita, até a 1 m de profundidade e 2,5 m de distância da planta, avaliadas pelos seus comprimentos e diâmetros no perfil do solo. Os frutos colhidos foram quantificados e avaliados quanto à qualidade. Para os três tratamentos, até a profundidade de 0,625 m, ocorreu mais de 85% da extração de água pela planta. O tratamento T2 apresentou um padrão de distribuição de água mais uniforme, proporcionando uma maior disponibilidade de água no solo, principalmente no perfil transversal, seguido do T3. O tratamento T2, seguido do T3, apresentou, nas camadas avaliadas, maior taxa de extração que a do tratamento T1. Os valores de produtividade média da lima ácida ‘Tahiti’ apresentaram diferença significativa entre os tratamentos T2 (19.506 kg ha⁻¹) e T1 (13.545 kg ha⁻¹). A produtividade do tratamento T3 (16.683 kg ha⁻¹), apesar de superior à do T1 e inferior à do T2, não diferiu estatisticamente destes. Os frutos do T3 e T2 apresentaram teor de ácido ascórbico superior aos do T1. Nos três tratamentos testados, as raízes com diâmetros menores que 0,2 cm representaram mais de 90% do total. Mais de 80% do comprimento total de raízes mais finas ocorreu até 0,625 m de profundidade e a uma distância de até 2 m da planta, nos três tratamentos. Observou-se que as plantas do tratamento T2 apresentaram maior fluxo de seiva por unidade de radiação e por unidade de ETo que as do T3 e do T1. As plantas do tratamento T2, seguido do T3, exibiram, no geral, maior transpiração, potencial hídrico e condutância estomática e menor temperatura foliar que as do T1, principalmente nos horários de maior radiação, tanto na fase de floração quanto na de frutificação. Dessa forma, conclui-se que as plantas do tratamento T2 tiveram melhor desenvolvimento fisiológico que as dos tratamentos T3 e T1, o que está relacionado com a melhor condição hídrica desse tratamento.

ABSTRACT

SIMÕES, Welson Lima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2007. **Influence of different microsprinkler arrangements in soil water distribution and morphophysiological parameters of *Citrus latifolia* Tanaka on door-graft *Citrus limonia* Osbeck.** Adviser: Mauro Aparecido Martinez. Co-Advisers: Eugênio Ferreira Coelho, Rubens Alves de Oliveira and Paulo Roberto Cecon.

Irrigation has been a decisive factor in maximizing the production of acid lime 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka), mainly in the driest areas, inasmuch as the occurrence of water deficit affects plant growth and development. In fruit orchard under microsprinkler irrigation system, the characteristics of water emitters and their location influence water distribution and availability, altering water absorption by the roots. Therefore, this work aimed to evaluate the influence of different arrangements of microsprinklers in the soil water distribution and morphophysiological parameters of *Citrus latifolia* Tanaka on door-graft *Citrus limonia* Osbeck. We evaluated water extraction by plants, root system distribution, daily sap flow, foliate transpiration and temperature, stomatal conductance and leaf water potential during flowering and fructification, besides productivity and fruit quality. The experiment was carried out at the EPAMIG experimental farm in Mocambinho, Jaíba in northern Minas Gerais. The crop used in the tests was acid lime 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka), grafted on four-year old "clove" lemon (*Citrus limonia* Osbeck), 5 x 7 m spaced and daily submitted to irrigation by microsprinkler. The soil was classified as Quartzogenic neosoil and the experimental design was arranged in randomized blocks with three treatments and six replicates. Three microsprinkler arrangements were evaluated: T1 - one emitter per plant, located among plants along the plant row, with discharge of 35 L h⁻¹; T2 - one emitter per two plants, located among plants along plant row, with discharge of 70 L h⁻¹; and T3 - one emitter per plant, located 0,3 m near the plant, with discharge of 35 L h⁻¹. In the field, two vertical trenches were made close to the plant, one useful plant for each treatment, 60 days before the beginning of the field evaluations. The trenches were opened longitudinally and transversely to the plant line, starting from the plant up to a distance of 2.5 m and from the soil surface up to 1.0 m depth and, with subsequent installation of TDR probes 0.10 m long. Moisture readings were made by TDR100, during 3 days in uncovered soil and 3 days in covered soil after irrigation, with readings

performed at 10-minute intervals to evaluate the distribution of available water in the soil and the amount of water extracted by the roots between irrigation cycles. During flowering and fructification, daily sap flow using heat balance technique, and transpiration, stomatal conductance, water potential and leaf temperatures were measured. The soil samples containing the roots were collected after harvest, to a depth of 1 m and distance of 2.5 m from the plant, evaluated for length and diameter profile in the soil. Productivity and fruit quality were also evaluated. For all treatments, up to the depth of 0.625 m, over 5% of the water extraction was performed by the roots. T2 presented a more homogeneous water distribution pattern than the other treatments, providing larger amount of water available in the soil, mainly in the traverse profile. T2 and T3 presented greater water extraction rate than T1. Acid lime 'Tahiti' productivity was significantly different between T2 (19,506 kg ha⁻¹) and T1 (13,545 kg ha⁻¹). However, there was no significant difference between T3 (16.683 kg ha⁻¹) and the other treatments. T3 and T2 fruits presented higher acid ascorbic contents than those in T1. The roots with $d \leq 0.2$ cm diameter represented more than 90% of the total. About 80% of the finer roots were found in the 0-0.625 m soil depth and up to a distance of 2 m from the tree trunk, in all treatments. T2 also presented higher sap flow, transpiration, water potential, stomatal conductance and lower leaf temperature than the other treatments. Therefore, T2 plants were considered better morphophysiologicaly developed than the T3 and T1 plants , probably due to the better water distribution and availability in that treatment.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de frutas cítricas do mundo, com uma produção de aproximadamente 15,5 milhões de toneladas em 2002/2003 (FNP, 2004), com a expectativa de produtividade de 11.668,8 kg ha⁻¹ da lima ácida ‘Tahiti’, com cerca de 5 anos de idade (AGRIANUAL, 2006). A citricultura ocupa importante papel na economia do país e gera uma renda de US\$ 1,5 milhão, com potencial para promover o desenvolvimento em diversas regiões brasileiras, sendo a irrigação fator decisivo para maximizar a produção (ROJAS, 2003). Em regiões de clima semi-árido como o Norte do Estado de Minas Gerais, a demanda por tecnologias na área de irrigação, voltadas para o manejo de solo, água, planta e nutrientes, tem aumentado. Em alguns casos, o potencial natural disponível para exploração da fruticultura dessas regiões torna essa atividade um ótimo negócio para o desenvolvimento regional e, conseqüentemente, para a economia do país (SIMÃO et al., 2004).

Para acompanhar o desenvolvimento e a competitividade do mercado, os técnicos, produtores e pesquisadores da área de fruticultura têm procurado compreender e aplicar melhor as tecnologias disponíveis, para obtenção de maiores produtividades, melhor qualidade e menor custo. No entanto, a grande maioria dos pomares brasileiros apresenta baixas produtividades (próximo de 2 caixas por planta), devido à combinação de diversos fatores, especialmente tratos culturais (AMARO et al., 2003). A pesquisa nesta área tem sido direcionada para um entendimento mais completo das respostas das plantas cítricas ao *deficit* hídrico. Para tanto, existe a necessidade de um programa amplo, multidisciplinar, que aborde os elementos relacionados à climatologia, à físico-química do solo, à fisiologia vegetal e à engenharia da irrigação, dentre outros, para a obtenção de respostas que possam contribuir para o desenvolvimento da área.

Na prática, o uso combinado de equipamentos como reflectômetros tipo reflectometria no domínio do tempo (*Time Domain Reflectometry* - TDR), sensores de fluxo de seiva e de transpiração e medidores de fotossíntese pode ser útil para a identificação do melhor arranjo do sistema de irrigação das culturas, do local exato de instalação de sensores e do momento mais adequado para aplicação de água e adubos, reduzindo custos de implantação e manutenção dos pomares.

O método de irrigação que vem sendo mais utilizado pelos produtores de citros na região é a irrigação localizada por microaspersão, provavelmente por assegurar maior área molhada, principalmente em solos arenosos. Entretanto, a disposição do sistema no campo pode determinar diferentes condições de suprimento de água para as plantas e

influenciar as estratégias de regulação hídrica da planta, o potencial de água na folha, a transpiração e a condutância estomática, dentre outros, mesmo com a aplicação da lâmina de água adequada. Portanto, informações sobre a distribuição de água no perfil do solo são muito importantes, tanto para o dimensionamento dos sistemas de irrigação quanto para o seu manejo.

A absorção de água pelas plantas é influenciada por inúmeros fatores naturais, dentre os quais se podem destacar a extensão, a profundidade e a densidade de comprimento do sistema radicular, a atividade metabólica da planta, a incidência da radiação solar, a umidade do solo e outras características do solo relacionadas com a disponibilização de água para as culturas. Dessa forma, o conhecimento da distribuição do sistema radicular da planta e o seu padrão de extração de água permitem o uso mais adequado de práticas de cultivo, como manejo e fertilização do solo. Também, é requisito básico para a elaboração de projetos e execução do manejo de irrigação, de forma a reduzir as perdas e aumentar a eficiência de uso da água pelas plantas (SOUZA et al., 2002; COELHO et al., 2001).

Avaliando os trabalhos já realizados em pomares cítricos irrigados, observa-se que a distribuição das raízes, taxa de transpiração e produtividade estão diretamente relacionadas com os padrões de área molhada, estando estes relacionados, principalmente, ao tipo e manejo do sistema de irrigação. Os dados disponíveis até o momento são de grande importância para o manejo da irrigação da lima ácida ‘Tahiti’. Entretanto, uma caracterização geral do sistema radicular da cultura, relacionando os diferentes diâmetros de raízes com absorção de água, transpiração da cultura e outros parâmetros fisiológicos sob diferentes arranjos de sistemas de irrigação, possibilitará maior exatidão no fornecimento de água e nutrientes para a cultura e possível aumento de produtividade.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, considerando-se três diferentes disposições de microaspersores instalados em um pomar de lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tanaka) sobre o porta-enxerto limão ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck):

- Determinar a disposição de microaspersores que proporcione maior eficiência do uso da água pela lima ácida ‘Tahiti’, com melhores condições fisiológicas para a obtenção de maior produtividade e melhor qualidade dos frutos, em condições semi-áridas.
- Determinar os perfis de distribuição de água no solo.

- Avaliar a distribuição efetiva do sistema radicular no solo.
- Mapear as zonas de extração de água pela lima ácida ‘Tahiti’.
- Avaliar, ao longo do dia, o fluxo de seiva e outros parâmetros fisiológicos, em diferentes fases da cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Características da lima ácida ‘Tahiti’

A lima ácida ‘Tahiti’, *Citrus latifolia* Tanaka, é uma das espécies que fazem parte de um grande grupo de plantas do gênero Citrus, que são originárias, principalmente, de regiões subtropicais e tropicais, como sul e sudeste da Ásia e áreas da Austrália e África. Entretanto, esta espécie é americana, originada na Califórnia, a partir de sementes de limão que haviam sido introduzidas do Tahiti, por volta de 1870.

As árvores de lima ácida ‘Tahiti’ são de porte médio e atingem de 3 a 4 m de altura, a copa é densa e de formato normalmente arredondado; as folhas e flores são aromáticas e de tamanho pequeno; e os frutos são ricos em vitamina C e possuem, ainda, quantidades significativas de vitaminas A e do complexo B, além de sais minerais, contendo cálcio, potássio, sódio, fósforo e ferro (MATTOS JR. et al., 2003).

Durante o período de expansão, as folhas apresentam coloração verde-clara, de textura leve, e secam imediatamente quando retiradas do ramo. Adquirem competência fotossintética lentamente, apenas exportando assimilados ou nutrientes, quando todas as folhas do ramo estão completamente desenvolvidas. Por ocasião da maturação, tornam-se verde-escuras, com textura firme, e não secam imediatamente ao serem retiradas do ramo. A máxima taxa fotossintética é obtida quando as folhas estão com 3 a 4 meses, e tem sido observado algum declínio no número de folhas com mais de 6 meses (KRIEDEMANN; BARRS, 1981).

Na planta adulta, os processos que causam a maior demanda por nutrientes e água são o florescimento e a frutificação, fazendo que haja aumento das atividades metabólicas das folhas, responsáveis pela produção dos compostos orgânicos. Principalmente nesse período, a preservação do sistema radicular em pleno funcionamento é importante para conseguir tanto a geração quanto a fixação de maior número de frutos (GIORGI et al., 1991).

O florescimento nos citros geralmente ocorre após temperaturas baixas e, ou, estresse hídrico. Esses fatores atuam na diferenciação e quebra de dormência de gemas floríferas, principalmente em ramos com 6 a 18 meses que não possuem frutos (MEDINA, 2003). Segundo Spiegel-Roy e Goldschmidt (1996), a ocorrência e duração do período de florescimento estão amplamente relacionadas com a temperatura. Sob condições de clima mais quente, as flores se abrem num curto período de dias, resultando em um surto concentrado de flores abertas, queda e pegamento de frutos.

Vários fatores ligados ao desenvolvimento dos tecidos são importantes durante o período de floração das plantas cítricas, como estresse hídrico, fotoperíodo, temperatura e metabolismo de nitrogênio e carboidratos, principalmente em regiões quentes (KRAJEWSKI; RABE, 1995).

Nesse contexto, o suprimento adequado de água pode diminuir a ocorrência de abscisão de flores e frutos e favorecer o aumento da produtividade e melhoria na qualidade dos frutos das plantas cítricas.

2.2. Características dos frutos

Apesar de o florescimento primaveril dos citros ser vigoroso, o número de frutos cítricos colhidos não ultrapassa 10% das flores formadas, ficando os valores normalmente entre 0,1% e 3,5% (MONSELISE, 1986). Segundo Castro et al. (2001), a abscisão fisiológica de flores e frutos imaturos é uma disfunção decorrente, provavelmente, da competição dos frutos por água, carboidratos e outros metabólitos. A maior competição ocorre quando os frutos possuem entre 0,5 e 2,0 cm (DAVIES; ALBRIGO, 1994). Na realidade, até atingirem cerca de 4,0 cm de diâmetro os frutos estão sujeitos a cair com maior facilidade, caso não seja mantida uma taxa mínima de crescimento ou se o mecanismo de abscisão for estimulado artificialmente através do aumento do nível de etileno endógeno (MOSS, 1976).

A deficiência hídrica também aumenta a abscisão de frutos (Moss, 1976).

Krajewski e Rabe (1995) relataram que o desenvolvimento dos frutos segue uma curva sigmoideal caracterizada por três estádios diferenciados:

- O primeiro estágio, caracterizado pela divisão celular, dá-se no intervalo de pleno florescimento e no tempo requerido para a formação dos tecidos. O período de divisão ocorre entre quatro e oito semanas. O crescimento de tamanho durante o estágio I (de 0,04 a 3,70 mL) é feito, principalmente, pela casca em 75 a 95% de seu volume total.

- O estágio II compreende o período mais crítico e de máximo crescimento do fruto; é marcado por rápidas mudanças na morfologia, anatomia e caracteres fisiológicos do fruto na ausência de divisão celular. A hidratação dos tecidos é acompanhada pelo alargamento celular e pela diferenciação e formação de tecido esponjoso. O final desse período de desenvolvimento é marcado pelo início da mudança de cor do flavedo. Esse período parece coincidir com o ponto de colheita, especialmente para o mercado interno brasileiro, em que há preferência para frutos de casca lisa, macios e suculentos. No mercado internacional, o Tahiti tem sido colhido pouco antes, quando os frutos estão com coloração verde-escura.

- O estágio III é marcado pelo início da maturação fisiológica, com redução na taxa de crescimento do fruto, pela perda da clorofila e pelo desenvolvimento da coloração característica, verde-oliva (AFUSTÍ et al., 1995, citados por MEDINA, 2003).

2.3. Influência das características hídricas e ambientais sob a transpiração da planta

Apesar da grande importância da água para a planta, aproximadamente 98% da quantidade absorvida é perdida durante a transpiração. A eficiência da planta está em utilizar apenas 1 a 2% de água para a sua dinâmica metabólica (REICHARDT; TIMM, 2004).

A transpiração consiste na vaporização da água líquida contida nos tecidos das plantas e na remoção do vapor à atmosfera, predominantemente perdidas pelos estômatos. A água e os nutrientes do solo são absorvidos pelas raízes e transportados até as folhas. A vaporização acontece dentro da folha, isto é, nos espaços intercelulares, e a troca de vapor com a atmosfera é controlada pela abertura e fechamento dos estômatos (ALLEN et al., 1998).

A transpiração, importante parâmetro de avaliação do desenvolvimento da cultura sob diferentes condições hídricas, depende do suprimento de energia, gradiente de pressão do vapor e velocidade do vento. Dessa forma, para a avaliação das perdas de água por meio da transpiração devem ser considerados fatores como radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar e a

gasosa, à capacidade de manter alto teor hídrico na folha e suportar a desidratação imposta pelo ambiente adverso. Dessa forma, Davies e Albrigo (1994) sugerem a análise de parâmetros fisiológicos, como condutância estomática, potencial hídrico da folha e assimilação de CO₂, para melhor compreensão dos fatores que limitam a produtividade da cultura.

2.3.1. Condutância estomática

O fechamento dos estômatos reduz a condutância estomática e, conseqüentemente, a transpiração e a atividade fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2004). Várias espécies de plantas fecham os estômatos com a diminuição do teor de água do solo, mesmo que o estado hídrico da planta aparentemente não tenha mudado. Nessas condições, os estômatos se fecham mesmo quando as folhas ainda não estão em carência hídrica, desde que pelo menos parte do sistema radicular esteja em meio com restrição hídrica. Essa resposta é um sinal transmitido das raízes para as folhas, de modo que estas reduzem a perda de água (transpiração) antes de a planta sofrer carência hídrica (MANSFIELDS; DAVIES, 1985). Davies et al. (2002) confirmaram que sinais químicos de apenas parte das raízes podem afetar as respostas estomáticas ao estresse hídrico, evidenciando que a condutância estomática freqüentemente está mais relacionada com o *status* hídrico do solo do que com o da folha.

As plantas cítricas reduzem a evapotranspiração automaticamente quando a água do solo começa a ficar menos disponível às raízes, diminuindo significativamente a condutância estomática (SEPASKHAH; KASHEFIPOUR, 1995; GINESTAR; CASTEL, 1996). Segundo Tolk et al. (1998), os estômatos controlam a maior parte do fluxo d'água na planta, entretanto a sua atividade é controlada por vários parâmetros, como: radiação solar, água disponível no solo, temperatura, *deficit* de pressão de vapor e índice de área foliar.

A ação combinada dos vários mecanismos reguladores do estado hídrico das plantas provoca mudanças na abertura estomática, de forma diferente, ao longo do dia e da noite. Existe tendência de o balanço hídrico se tornar gradualmente negativo ao longo do dia e, de maneira inversa, durante a noite; se houver água no solo, o balanço hídrico é restaurado para valores próximos de zero. Dessa forma, certos estudos determinam o potencial hídrico das folhas antes do nascer do sol e de os estômatos se abrirem, o que se denomina potencial hídrico basal (“Pre-Dawn”). Esse potencial exprime o equilíbrio no sistema solo-água-planta, sendo o seu valor igual nos

componentes: solo, raiz, xilema ou folhas. Nos períodos de *deficit* de água no solo, o conteúdo hídrico foliar frequentemente não é totalmente restabelecido durante a noite, de modo que o *deficit* se acumula com o passar dos dias até que a água necessária seja reposta (LARCHER, 1995).

2.3.2. Temperatura da folha

Quando a taxa de transpiração é maior que a de absorção de água, a planta tende a fechar seus estômatos. Dessa forma, a radiação interceptada pela folha tende a promover um aquecimento foliar, podendo chegar a níveis prejudiciais ao metabolismo da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004). Portanto, a transpiração atua no controle da temperatura foliar, pois, quando o estresse hídrico limita a transpiração, a folha tende a se aquecer. Em razão dessa interação, o estresse hídrico e o térmico estão diretamente relacionados. Quando o *deficit* de água no solo provoca o fechamento dos estômatos, a temperatura foliar pode subir 4 a 5 °C acima da temperatura ambiente (MAGGIOTTO, 1996).

Temperaturas foliares altas podem provocar diminuição na taxa fotossintética, redução na atividade enzimática e até a desnaturação de enzimas (HALE; ORCUTT, 1987). Outro fator que pode ser inibido pela elevação da temperatura foliar é a respiração. Entretanto, conforme Maggiotto (1996), o aumento da temperatura afeta mais rapidamente a taxa fotossintética que a taxa respiratória. Esse autor relatou que, com o aumento da temperatura, a taxa fotossintética pode não ser suficiente para repor o carbono usado como substrato para a respiração; como consequência, as reservas de carboidratos diminuem, e os frutos tendem a perder açúcar.

Pazzetti et al. (1992) observaram que, quanto menor a frequência de irrigação, os potenciais de água no solo se tornavam mais negativos, provocando, provavelmente, maiores resistências estomáticas e ocasionando maximização da temperatura do dossel e da folha nos horários mais quentes do dia. As irrigações mais frequentes, no entanto, induziram baixa variação na transpiração da planta durante o período mais quente do dia, reduzindo menos o potencial hídrico da folha e mantendo níveis mais altos de utilização da radiação fotossinteticamente ativa. Concluíram que pouca variação no teor de água no solo já é suficiente para que as culturas apresentem maiores temperaturas que no estado ótimo de desenvolvimento.

Olufayo et al. (1996), trabalhando com sorgo irrigado em Montpellier, França, mostraram que a diferença entre a temperatura do dossel e a do ar foi de até 7 °C nos

tratamentos não-irrigados, enquanto nos irrigados essa diferença foi nula. Bergonci et al. (1999), avaliando a diferença de temperatura dossel-ar como indicador de *deficit* hídrico em milho, verificaram uma diferença de temperatura dossel-ar de até 6 °C entre o tratamento irrigado e o não-irrigado.

2.3.3. Potencial hídrico

Segundo Taiz e Zeiger (2004), o potencial hídrico é uma medida do grau de hidratação de uma planta e, assim, fornece um índice relativo do estresse hídrico ao qual a planta está submetida. O *deficit* hídrico, por sua vez, conduz a inibição da divisão celular, a inibição da síntese de proteínas, ao acúmulo de solutos, ao fechamento estomático e à inibição da fotossíntese.

Ao perderem água por transpiração, as células das folhas reduzem os valores do seu potencial de água, e uma pressão negativa ou tensão, que se propaga ao longo da coluna do xilema, é formada. Quando as células foliares retiram água do xilema do caule, este as retira das raízes, que por sua vez as retiram do solo. Forma-se, assim, uma coluna líquida da raiz à folha, que ascende com a sucção causada pela transpiração (REICHARDT; TIMM, 2004).

Medidas do potencial da água na folha têm-se apresentado como importante instrumento para a quantificação do estresse hídrico a que os vegetais são submetidos e permitem observar e determinar a resistência ao transporte de água no sistema solo-planta (BRUNINI, 1979).

A perda de água das plantas para a atmosfera ocorre de modo contínuo. Assim, elas raramente se encontram em estado de plena hidratação. À medida que o solo se torna mais seco, a planta, similarmente, torna-se menos hidratada. Dessa maneira, o *deficit* hídrico pode levar à inibição do crescimento vegetal e da fotossíntese, assim como a outros efeitos prejudiciais (TAIZ; ZIEGER, 2004).

Pazzetti et al. (1992) observaram que as irrigações mais freqüentes induziram menor variação na transpiração da planta durante o dia, reduzindo menos o potencial hídrico da folha e mantendo níveis mais altos de utilização da radiação fotossinteticamente ativa.

Um estudo apontou que as mudas de *E. citriodora* promoveram o fechamento rápido dos estômatos em condições de altas taxas para o *deficit* de pressão de vapor e radiação fotossinteticamente ativa, porém sempre mantendo um alto *status* hídrico do tecido (FERREIRA et al., 1999).

2.3.4. Fluxo de seiva

A determinação direta da quantidade de água consumida por uma planta lenhosa, de tamanho relativamente grande, vem sendo desenvolvida por diversos métodos. Dentre as alternativas metodológicas para determinação da transpiração, os métodos de fornecimento de calor ao caule, que medem o fluxo de seiva, equivalente em escala diária à transpiração, vêm sendo amplamente empregados em fruteiras (COELHO FILHO, 2002). Os primeiros relatos de medidas diretas de fluxo de seiva em plantas foram feitos por Huber, em 1932, utilizando o método conhecido como pulso de calor. Atualmente, outras formas de avaliação do fluxo de seiva estão disponíveis, como a técnica por dissipação de calor (GRANIER, 1985) e por balanço de calor no caule (SAKURATANI, 1981; BAKER; VAN BAVEL, 1987).

Utilizando a técnica de dissipação de calor para avaliar o fluxo de seiva em plantas lenhosas, Granier (1985, 1987) propôs o uso de duas sondas inseridas no caule, sendo uma delas aquecida, com o fornecimento constante de calor ao caule. Esse método é conhecido como método de Granier. A determinação da área efetiva do xilema é uma fonte de erro do método e, ao exigir a retirada de uma amostra do lenho, ou a destruição total da planta, torna-se um procedimento desvantajoso quando comparado com o método de balanço de calor, por exemplo (BRAUN, 1997). Outras fontes de erro desse método são as variações espaciais do fluxo de seiva no lenho, que exige adequada instalação da sonda (LU et al., 2000) e colocação de termopares medidores de variações de temperatura no caule (MANGUEIRA; SILANS, 1995).

O método de dissipação de calor relaciona a dissipação do calor entre dois pontos do tronco da planta, em função do fluxo de seiva que passa na mesma secção. Esse método utiliza princípios físicos relativamente simples, podendo ser aplicado diretamente no campo sem alterar as condições fisiológicas e, principalmente, microclimáticas da planta. Quando os sensores detectam a máxima diferença de temperatura entre o ponto de aplicação de calor e outro ponto, posicionado paralelamente a este, onde não se aplicou calor, o fluxo de seiva nessa secção é mínimo ou nulo. Entretanto, se a diferença de temperatura for mínima, ocorrerá fluxo de seiva máximo para a secção de transporte correspondente. O fluxo de seiva normalmente tem o seu valor reduzido ou cessa completamente nas horas que antecedem o amanhecer e ocorre de maneira mais intensa em torno das 16 horas (ROJAS, 2003).

O método de dissipação de calor tem sido utilizado tanto na investigação de efeitos ambientais na variação da transpiração em condições de campo, quanto em estudos que avaliam a fisiologia do estresse (MASSAI et al., 2000).

O método do balanço de calor permite a estimativa do fluxo de seiva dos ramos ou da árvore. O princípio de aplicação desse método é uma medida volumétrica do fluxo de seiva em plantas, que pode ser admitido como equivalente à transpiração. A primeira versão desse método, segundo Cermak et al. (1973), constitui basicamente a aplicação contínua de calor à taxa constante em um segmento do caule, quantificando-se as perdas por condução axial e radial e a variação da energia térmica armazenada no caule. Assim, o fluxo de calor transportado pela seiva é determinado a partir da diferença entre essas perdas e a potência aplicada.

Uma vantagem que a técnica do balanço de calor apresenta em relação às outras técnicas disponíveis é que ela fornece o valor do fluxo de seiva de forma absoluta, sem a necessidade de calibração e dano à planta. Segundo Weibel e Boersman (1995), outra vantagem desse método é que os resultados brutos podem ser analisados se são confiáveis e que seu potencial de erros é inferior a 5%, quando avaliados em 24 horas. Sua utilização, no entanto, exige que certos cuidados sejam tomados de modo a minimizar erros de medida, que podem chegar a 20%, sendo os principais assegurar bom contato entre o corpo do sensor e o caule (WEIBEL; DE VOS, 1994) e realizar boa amostragem dos gradientes axiais de temperatura, nos casos em que há variabilidade radial acentuada no tronco na condução de água (STEINBERG et al., 1990).

A despeito das restrições ao uso dos sensores comerciais em pesquisas científicas, a praticidade e a robustez desse tipo de sensor têm sido o grande atrativo para a sua divulgação no meio científico (MARIN et al., 2001).

Considerando as restrições para o uso dessa técnica, Trejo-Chandia (1997) comentou que encontrou valores de fluxo de seiva maiores que os da transpiração em períodos de maior demanda hídrica, em mudas de limão. Esse autor recomendou ainda o desenvolvimento de material que permita o isolamento térmico para minimizar efeitos externos como fonte de erro. Em plantas lenhosas e adultas, como no caso de lima ácida “Tahiti”, a grande dimensão e a irregularidade dos troncos surgem como uma dificuldade operacional a mais para o emprego dessa técnica, somada ao fato de que não existe padronização de conversão de unidades entre transpiração da planta e evapotranspiração do pomar quando se trata de plantas isoladas, como verificado por Marin et al. (2001).

Rojas (2003) comentou ainda que existe um período de tempo muito limitado que o sensor pode permanecer instalado no campo. Devido ao isolamento térmico do segmento envolvido, a água transpirada através da epiderme condensa e se acumula naquele setor do caule sob o sensor, criando condições favoráveis para infestação e desenvolvimento de fungos e insetos, que podem danificar tanto o sensor quanto a própria planta, além de interferir na medida. Em período chuvoso, o tempo de permanência do sensor no campo diminui consideravelmente.

Gutiérrez et al. (1994), avaliando o desempenho dos sensores comerciais sob condições de temperaturas elevadas e expostas à radiação solar direta, observaram que os sensores comerciais apresentavam distorções nas medidas de fluxo de seiva. Entretanto, tais erros foram atribuídos ao aquecimento da seiva durante sua passagem pelo sensor, o que foi corrigido pela colocação de uma proteção adjacente ao corpo do sensor, com a finalidade principal de evitar a incidência de radiação direta sobre ele. É importante salientar que, quando instalados em plantas com elevada área foliar, se houver sombreamento do sensor nos horários mais quentes do dia os erros de medida são expressivamente minimizados.

Alguns trabalhos foram realizados com o método de balanço de calor, caracterizando as suas vantagens e limitações para diferentes tempos de coleta e tipos de cultura. Segundo Valancogne e Nasr (1993), em espécies lenhosas de grande porte o fluxo de seiva representa a transpiração somente em escala diária, porque, em escalas menores, o fluxo de seiva medido à base do tronco representa bem a absorção de água pelo sistema radicular, entretanto não corresponde necessariamente à transpiração. Nesse caso, observa-se defasagem entre absorção e transpiração relacionadas à capacidade de armazenamento de água no tronco. Comentários semelhantes foram acrescentados por Weibel e de Vos (1994) trabalhando com macieira e por Steinberg et al. (1989) em plantas lenhosas. Esses autores afirmaram que, em intervalos de coleta maiores que 24 h, o erro é de 4%, enquanto em curto intervalo de tempo o erro pode chegar a 20%.

Alguns trabalhos realizados no Brasil, relacionados com a necessidade de adaptação dos métodos de avaliação às condições de uso e aos diferentes tipos de plantas lenhosas, podem ser destacados: Trejo-Chandia (1997), que comparou o fluxo de seiva com a transpiração, medida em balança de precisão, em casa de vegetação, para a lima ácida 'Tahiti'. Esse autor recomendou o desenvolvimento de material que permita o isolamento térmico para minimizar efeitos externos, como fonte de erro, pois

obteve, em seu trabalho, valores de transpiração pelo método do fluxo de seiva 13%, em média, superiores aos obtidos por pesagem. Angelocci et al. (2000) desenvolveram estudos em árvores adultas de lima ácida 'Tahiti' com o método do balanço de calor, no qual o fluxo de seiva foi utilizado como estimativa da transpiração da planta. Coelho Filho (2002) trabalhou com fluxo de seiva de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' em condições de campo, comparando-as com medidas de transpiração por lisímetros de pesagem, e encontrou excelentes concordâncias entre os métodos. Marin (2000) utilizou o método de fluxo de seiva para estimativa da transpiração e o método aerodinâmico para a estimativa da evapotranspiração em um pomar de lima ácida 'Tahiti' irrigada por microaspersão, concluindo que a transpiração foi responsável por 58% da evapotranspiração no verão e 100 % no inverno, porém com grande dispersão dos pontos. Rojas (2003), trabalhando com plantas adultas de lima ácida, obteve resultados em um ramo mostrando valores discrepantes entre a sonda de dissipação térmica e o método de balanço de calor, com valores maiores neste último. Ambos os métodos, desde que usados com a devida cautela, podem fornecer resultados confiáveis de medida da transpiração diária de plantas.

2.4. Distribuição do sistema radicular da lima ácida 'Tahiti'

O conhecimento das interações ocorridas no sistema água-solo-planta-atmosfera em regiões de clima árido e semi-árido é muito importante para potencializar o desenvolvimento das culturas. Nesses ambientes, o uso da irrigação em muitos casos se torna indispensável, e a caracterização do sistema radicular e o conhecimento da dinâmica da água no solo são fundamentais para a compreensão dos processos de transferência de água e otimização da produção.

O sistema radicular das culturas desempenha importante papel nas interações entre o solo, a planta e os organismos vivos. A distribuição do sistema radicular influencia, diretamente, a forma de extração de água e nutrientes do solo pelas plantas. O conhecimento da sua distribuição no solo permite o uso mais adequado de práticas de cultivo, como manejo e fertilização do solo, além de ser um requisito básico para a elaboração de projetos, manejo de irrigação e monitoramento da água no solo através da instalação de sensores em locais apropriados (COELHO et al., 2001; FRACARO; PEREIRA, 2004). O conhecimento da densidade e profundidade do sistema radicular permite não somente a determinação da lâmina necessária de irrigação, mas também a distribuição dos fertilizantes em locais adequados, de forma a reduzir as perdas e

aumentar a eficiência de uso pelas plantas (SOUZA et al., 2002). Segundo Coelho e Or (1996), a distribuição do sistema radicular das plantas é função das características físicas do solo, fatores genéticos e do regime hídrico ao qual a planta está submetida.

Em regiões de clima árido ou semi-árido, o desenvolvimento das raízes concentra-se no bulbo molhado pelos emissores. Assim, a distribuição de fertilizantes via água de irrigação maximiza o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, e o conhecimento da real extensão, distribuição e profundidade das raízes pode auxiliar a adoção de técnicas culturais como espaçamento de plantio e manejo do solo (MAGALHÃES, 1996; CASTLE et al., 1989; COELHO; OR, 1996). Pizarro (1990) afirmou que as regiões secas são obstáculos para o desenvolvimento das raízes, proporcionado pela falta de umidade e pela maior concentração de sais na periferia dos bulbos.

Embora a importância do sistema radicular das culturas seja reconhecida há muito tempo, apenas mais recentemente estudos mais detalhados vêm sendo conduzidos, possivelmente devido à dificuldade natural de obtenção de amostras. Dessa forma, muitos trabalhos que avaliam o manejo de água no solo e necessitam de dados de raízes têm utilizado o peso seco de raízes, que é um parâmetro de mais fácil obtenção. Entretanto, as raízes seminais, pivotantes e de sustentação são mais grossas e mais pesadas, mas não são ativas no processo de absorção. Dessa forma, a densidade de comprimento de raiz tem sido o parâmetro mais confiável para representação da atividade do sistema radicular das culturas.

O peso das raízes, segundo Bohm (1979), é importante na caracterização da massa total de raízes do solo, entretanto não pode ser usado como parâmetro indicador de extração de água no solo, dado o fato de que a extração ocorre principalmente pelas raízes mais finas. Segundo esse autor, o diâmetro e comprimento das raízes são muito usados em estudos de distribuição de sistemas radiculares, e o diâmetro das raízes permite caracterizá-las em classes, como: muito finas, finas, pequenas, médias, grossas e muito grossas.

Como a taxa de absorção da água pelo sistema radicular depende da própria raiz e do meio, o desenvolvimento dos pêlos radiculares e a permeabilidade deles são os fatores endógenos, enquanto a umidade do solo, a presença de O₂ e CO₂, a temperatura e as propriedades do perfil do solo constituem os fatores exógenos. O potencial hídrico dos pêlos radiculares mais baixo que o da água do solo acarretará entrada da água para o seu interior, da mesma forma que, se mais alto, a água poderá deixar de fazer essa

entrada, diminuindo o crescimento e produtividade das plantas. A falta de oxigênio também afeta sensivelmente a absorção de água pelo sistema radicular (SEBANEK, 1992).

O estudo do sistema radicular demanda muito trabalho e tempo, desde a coleta das raízes no campo, passando pela fase de processamento, até a disponibilização dos resultados finais. A análise do sistema radicular pode ser feita pelos métodos diretos, em que é realizada a amostragem do sistema radicular com base em observações das raízes *in situ* ou com retirada de amostras para posterior análise em laboratório (BASSOI et al., 1994). Dessa forma, a distribuição do sistema radicular das culturas tem sido determinada, utilizando-se imagens digitais, obtidas a partir de raízes passadas em *scanner* de computador (KASPAR; EWING, 1997) ou a partir de imagens trazidas do campo, em câmera de vídeo e fotográfica (BOX, 1996).

A coleta de dados no campo pode ser realizada utilizando-se o método do trado, que consiste na retirada de amostras em diferentes profundidades e distâncias da planta em estudo. Essas amostras são lavadas e as raízes separadas para determinação de comprimento, diâmetro ou peso. A principal limitação desse método está na lavagem e limpeza final das raízes. Como vantagem, tem-se a possibilidade de realizar um grande número de amostragens sem muita destruição da área (BÖHM, 1979; FUJIWARA et al., 1994). Em culturas arbóreas existe a dificuldade de cortar as raízes espessas, principalmente próximas do tronco. Uma variação desse método é o uso do cilindro amostrador, que consiste de um cilindro de aço, com uma ranhura de largura suficiente para inserção de uma espátula para retirada das amostras de dentro do cilindro.

Basso et al. (1994) comentaram que a análise do sistema radicular pode ser feita também de forma indireta, utilizando princípios de determinação das mudanças na umidade do solo que ocorrem devido à absorção pelas raízes. Os métodos indiretos de determinação da atividade radicular, como o da depleção da umidade do solo, podem, em alguns casos, apresentar boa concordância com o método de análise de imagens digitais no estudo da distribuição radicular no perfil do solo.

As relações hídricas no citros são influenciadas por uma extensa resistência ao transporte de água dentro da planta. Essa resistência pode estar associada, dentre outros fatores, à quantidade de ramos e ao pouco desenvolvimento do sistema radicular, que, apesar de serem abundantes, apresentam baixa condutividade hidráulica (KRIEDEMANN; BARRS, 1981).

Machado e Coelho (2000), estudando a distribuição do sistema radicular da lima ácida ‘Tahiti’ sobre limão-cravo, concluíram que a profundidade efetiva, na linha de plantio, foi de 0,4 m, pelo método da variação do conteúdo de água no solo. Alves Júnior et al. (2004) verificaram que, em plantas jovens (30 meses) de lima ácida ‘Tahiti’ irrigadas por gotejamento, as raízes se concentravam a uma distância lateral do caule até 0,6 m e a uma profundidade de 0 a 0,3 m.

Moreira (1988), estudando o sistema radicular de plantas adultas, constatou que 60% das raízes se encontravam até 0,3 m de profundidade e 73% até 0,6 m. Pires (1992), para fins de irrigação, recomendou considerar 0,6 m como profundidade efetiva das raízes em pomares em produção e 0,5 m em viveiros.

Vieira et al (1999), trabalhando com microaspersão em um pomar de lima ácida “Tahiti”, variedade quebra-galho, sobre porta-enxerto de limão-cravo, com três anos e meio de idade, em Pinhal, SP, afirmaram que a profundidade efetiva do sistema radicular foi de 0,6 m, e a maior parte das raízes localizava-se entre 0,7 e 1 m do caule.

Santos et al. (2005), ao avaliarem o sistema radicular da lima ácida Tahiti sobre porta-enxerto Swingle sob microaspersão, observaram que a atividade do sistema radicular do limoeiro diminuía à medida que se afastava do microaspersor posicionado próximo do tronco, sendo que 85% do total das raízes foram encontradas a 0,25 m de profundidade e até a distância de 1,0 m da planta.

2.5. Resposta fisiológica da planta às condições hídricas do solo

A produtividade das culturas está, diretamente, relacionada à quantidade e disponibilidade de água no solo. Quando se trabalha com culturas que cobrem, de forma descontínua, a superfície do solo, como no caso de um pomar de citros, as plantas podem ser tratadas de forma individualizada, no que se refere ao consumo de água (ROJAS, 2003).

Sempre que a transpiração da planta for maior que a absorção de água pelas raízes durante esse período, isso caracterizará um *deficit* hídrico (DELVIN, 1975). Segundo Taiz e Zeiger (2004), o *deficit* hídrico pode provocar diversas respostas fisiológicas nas culturas, dentre as quais se destacam o fechamento dos estômatos e a redução da transpiração.

Segundo Taiz e Zeiger (2004), o processo mais afetado pelo *deficit* hídrico é o crescimento celular. O estresse hídrico mais severo conduz à inibição da divisão celular,

à inibição da síntese de proteínas e de parede, ao acúmulo de solutos, ao fechamento estomático e à inibição da fotossíntese.

O estresse hídrico altera a taxa de crescimento das plantas e, com isso, a produtividade agrícola. A resposta fisiológica a esse estresse modifica a expressão gênica da célula, quando ocorre a expressão de diversos genes, que podem ser classificados em dois grupos: aqueles que protegem diretamente contra desidratação influenciada pelos estresses ambientais e aqueles que regulam a expressão gênica e a transdução de sinal em resposta aos estresses (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 1996).

De acordo com Lopes et al. (1988), o *deficit* hídrico reduz o índice de troca de CO₂ e a sua condução para a folha, além de diminuir a concentração desse elemento nos espaços intercelulares. Após a interrupção desse *deficit*, esses parâmetros tendem a voltar ao normal, porém não em sua plenitude, pois a velocidade de recuperação é reduzida. Segundo Mota (1983), a recuperação completa da fotossíntese é lenta quando a planta chega próximo ao ponto de murcha permanente, variando com a espécie vegetal, com o tipo de solo e com o método de aplicação da água de irrigação. Outro efeito do estresse hídrico é a paralisação do crescimento do sistema radicular (SPIEGAL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996).

O estresse hídrico, entretanto, também pode ser utilizado em favor da atividade agrícola, pois tem sido relatado por diversos autores como sendo o maior fator de indução floral em plantas cítricas nas condições tropicais (PIRE et al., 1993; KRAJEWSKI; RABE, 1995; SILVA, 2005). O florescimento pode ser influenciado naturalmente pela ocorrência de um período seco. Em alguns países, o estresse hídrico é uma prática comumente utilizada para a indução floral em plantas cítricas, sendo sua intensidade relacionada à intensidade da floração obtida. De acordo com Lovatt et al. (1988), o efeito do estresse hídrico na indução floral em plantas cítricas pode estar relacionado com o acúmulo de produtos nitrogenados, que servem como substratos para a síntese de metabólitos que atuam no desencadeamento do processo de floração.

2.6. Manejo da irrigação na cultura do limão

A escassez mundial de água, aliada ao custo dos sistemas de irrigação, tem levado ao desenvolvimento de métodos de irrigação que minimizem o uso da água via maximização de sua eficiência (JONES, 2004). A aplicação artificial de água em quantidades adequadas e com determinadas frequências, baseada em fatores da própria

cultura, do solo e do clima dos locais, torna-se, dessa forma, fundamental para o manejo do sistema de irrigação sobre determinada cultura (COSTA; COELHO, 2001). Em se tratando dos sistemas de fruticultura, a irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) tem assumido importante papel na redução do volume de água aplicado. No entanto, segundo Silva et al. (2001) os diversos benefícios do sistema de irrigação só são gerados quando se utilizam critérios de manejo que resultem em aplicações de água no momento oportuno e nas quantidades compatíveis com as necessidades de consumo das culturas irrigadas. Tal fato corrobora Saad e Libardi (1994), que afirmaram que tanto o excesso quanto a falta de água são fatores que afetam, de maneira marcante, o rendimento das lavouras irrigadas e, conseqüentemente, o retorno econômico desse sistema de produção.

Assim como nas demais culturas agrícolas, a necessidade de água dos citros varia conforme o estágio fenológico das plantas. Na brotação, emissão de botões florais, frutificação e início de desenvolvimento dos frutos há maior demanda de água, e as plantas são muito sensíveis ao *deficit* hídrico nesse período. Na fase de maturação, colheita e semi-dormência, a demanda hídrica é menor. O período mais crítico vai da brotação até o fruto atingir 2,5 cm de diâmetro (COELHO et al., 2004).

O consumo anual de água pelas plantas cítricas varia de 600 a 1.200 mm. Os dados de diferentes regiões do mundo indicam que o consumo dos citros no período de inverno é de 1,5 mm dia⁻¹ e no período de verão, de 3,2 a 4,7 mm dia⁻¹. Dessa forma, devido à elevada demanda hídrica da cultura, a escolha do método de irrigação deve levar em consideração a eficiência do uso da água, que pode representar redução no consumo de água e energia sem perda de produtividade agrícola (COELHO et al., 2004).

A escolha do sistema de irrigação para as plantas cítricas deve levar em consideração, também, algumas limitações e inconvenientes relacionados com o tipo de sistema (NOGUEIRA et al., 2000; DASBERG; BRESLER, 1985). A irrigação localizada, que é caracterizada pela alta frequência e pequena quantidade de água, geralmente proporciona maior eficiência no uso da água. No entanto, para possibilitar uma utilização mais racional desse sistema, torna-se importante que o manejo seja adaptado às condições da cultura e climáticas da região.

No Brasil, o método mais comumente adotado pelos produtores nos pomares de citrus é a irrigação localizada por microaspersão. Os microaspersores podem ser dispostos próximos à planta ou entre elas, na fileira da cultura. A microaspersão

aparentemente assegura maior área molhada do solo que o sistema de gotejamento, principalmente em terrenos arenosos, mas o gotejamento, dependendo do número de emissores, pode promover área molhada semelhante à da microaspersão (COELHO et al., 2000).

Apesar de muitas características interessantes, como umedecer diretamente a zona radicular, mantendo a umidade próxima ao limite superior de disponibilidade de água, a irrigação das plantas cítricas por sistemas de microaspersão pode apresentar o inconveniente de molhar o caule, o que facilita o surgimento de doenças, principalmente as fúngicas. Por exemplo, a gomose, doença que interrompe o fluxo de seiva nos vasos condutores, podendo levar a planta à morte. Essa enfermidade tem grande severidade para a cultura da lima ácida ‘Tahiti’, sobretudo quando está sobre o porta enxerto limão cravo e tende a se instalar com maior facilidade quando as plantas se encontram sob condições de elevada umidade, podendo ser transmitido por respingos de água (AGUILAR-VILDOSO et al., 2003). Dessa forma, apesar de muito utilizado, o sistema de irrigação por microaspersão deve ser dimensionado de forma a suprir a necessidade real das plantas cítricas, contudo sem estabelecer condições que favoreçam a instalação e disseminação de doenças. Nesse contexto, além da quantidade total de água aplicada, a disposição dos emissores no campo pode influenciar o microclima local estabelecido pela irrigação.

2.7. Balanço hídrico em pomares de lima ácida ‘Tahiti’

O teor de água do solo está relacionado com uma série de processos interdependentes, que na maioria das vezes ocorrem de forma simultânea. Para a avaliação da dinâmica da água no solo, é de fundamental importância o conhecimento da umidade do solo e dos potenciais da água nele. A umidade é apenas um índice que relata a quantidade de água que o solo possui em dado momento, enquanto os potenciais da água dizem respeito aos diferentes tipos de energia potencial que atuam no sistema e podem dar indicação do *status* da água no solo e direcionamento do seu fluxo (LIBARDI, 1995).

Cada solo possui uma curva característica de retenção de água, podendo ocorrer variações entre horizontes em um mesmo perfil de solo. De posse da curva de retenção de água, pode-se determinar rapidamente, e com precisão, a disponibilidade de água para as plantas (RAICHARDT; TIMM, 2004). O modelo de curva característica desenvolvido por Van Genuchten (1980) é um dos mais utilizados para estas

determinações atualmente. De maneira geral, os potenciais matriciais da água no solo com as culturas cítricas devem ser mantidos entre -15 e -30 kPa a 0,30 m de profundidade, apesar de existirem recomendações para manutenção de valores entre -30 e -45 kPa, e os valores adotados em irrigação localizada podem ser maiores que aqueles em aspersão (COELHO et al., 2004).

O ciclo da água em uma cultura pode ser quantificado por meio do balanço hídrico, que é realmente a própria lei da conservação das massas e está intimamente ligado ao balanço de energia, pois os processos envolvidos requerem energia. Do ponto de vista agrônomo, o balanço hídrico é fundamental, pois define as condições hídricas sob as quais uma cultura se desenvolveu (REICHARDT; TIMM, 2004). A precisão do método do balanço hídrico no solo, segundo esses autores, depende da precisão com que são medidos os componentes.

A água evapotranspirada do solo é correspondente à diferença entre o teor de água no solo na capacidade de campo e o teor de água no solo em processo de secagem. Tem sido utilizada para determinar uma imparcial e consistente resposta das plantas ao *deficit* hídrico ao longo do período de secamento do solo (REICHARDT; TIMM, 2004).

A evapotranspiração de várias culturas têm sido determinada pelo método de balanço de água no solo, principalmente em locais onde o lençol freático esteja bem profundo, de modo que não influencie o teor de umidade na zona radicular da cultura (BERNARDO et al., 2005).

Segundo Libardi (1995), no processo de balanço hídrico o volume de solo considerado depende da cultura em estudo, pois se utiliza como limite superior desse volume a superfície do solo e como limite inferior, a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. A precipitação efetiva e a irrigação são consideradas como a quantidade de água que entra no sistema, e os componentes de saída são a extração de água pelo sistema radicular, a evaporação e possíveis perdas por percolações.

Para Pizarro (1990), a água disponível às culturas pode sofrer diversas influências do solo. Em solos arenosos, o bulbo formado pelo sistema de irrigação localizada é mais estreito e profundo que em solos argilosos, o que pode ocasionar alguns inconvenientes, como: redução na porcentagem de área molhada, percolação da água para fora da zona onde está o sistema radicular e lixiviação dos fertilizantes.

A distribuição de água no bulbo molhado depende do volume total de água aplicado, da vazão, da disposição dos microaspersores, das condições iniciais de

umidade, das propriedades físicas do solo, da atividade do sistema radicular das plantas e do manejo da irrigação (GOLDBERG et al., 1986; COELHO; OR, 1996).

Segundo Nogueira et al. (2000), as informações sobre a conformação do bulbo molhado são importantes, tanto para o dimensionamento dos sistemas de irrigação quanto para seu manejo. Isso porque a determinação do espaçamento entre emissores, a localização de sensores de umidade e a definição das zonas de diferentes intensidades de absorção de água e nutrientes requerem o conhecimento da dinâmica da água no bulbo molhado.

Outro fator de extrema importância no dimensionamento e manejo do sistema de irrigação localizada é o conhecimento da porcentagem de área molhada, uma vez que esta afeta a produção e crescimento da cultura, tanto do sistema radicular quanto da parte aérea. A porcentagem de área molhada varia de acordo com a cultura, as condições climáticas locais, os tipos de solo, emissor, o espaçamento entre emissores e a vazão do emissor. Ao aumentar o valor de porcentagem de área molhada, aumenta-se também a segurança da produtividade agrícola, principalmente em situações de elevada evapotranspiração, já que o maior volume de solo explorado proporciona maior disponibilidade de água, o que possibilita à planta resistir mais tempo a determinados estresses hídricos (PIZARRO, 1990).

Em árvores e plantas cultivadas em parreiras, Keller e Bliesner (1990) recomendaram uma porcentagem de área molhada variando de 33 a 67%; no entanto, quando se trata de irrigação suplementar, a porcentagem pode ter valor inferior a 33%, em solos de textura média. Para Keller e Karmeli (1975), esses valores podem ser alterados, em função do regime de chuvas da região e da adaptabilidade do sistema radicular das culturas à redução do volume de solo, utilizado na absorção de água e nutrientes. Em regiões sujeitas a maiores precipitações, seu valor mínimo pode ser de 20%.

Quando se trata de fruteiras sob irrigação localizada, devido ao seu grande porte muitos questionamentos são feitos quanto à sustentabilidade da produção, principalmente na fase adulta, quando há grande volume de raízes confinadas em pequenos volumes de solo. Trabalhos como os de Zekri e Parsons (1989), com pomelo irrigado na Flórida, demonstraram que uma porcentagem pequena pode ser suficiente em árvores jovens, mas não em adultas, que podem sofrer com o *deficit* hídrico nos meses mais quentes e secos.

Bielorai (1982) estudou os efeitos da porcentagem de área molhada sobre a produção, eficiência do uso da água e qualidade do fruto, em pomelo irrigado por gotejamento e aspersão, em Negev, Israel. A maior produtividade (192,6 kg planta⁻¹) foi obtida nas plantas irrigadas com porcentagem de área molhada igual a 40%, repondo 100% das necessidades hídricas das plantas. Em outro trabalho com pomelo irrigado em Negev, Bielorai (1985) estudou o efeito de duas porcentagens de área molhada (30 e 50%) na irrigação por gotejamento. Concluiu que a produção foi superior nas plantas dos tratamentos irrigados com porcentagem de área molhada de 50%. O tamanho dos frutos também foi afetado pelos tratamentos. O tratamento irrigado com porcentagem de área molhada de 30% resultou frutos menores.

Souza et al. (2003), testando três porcentagens de área molhada para o limão ‘Tahiti’ (15, 31 e 43%) irrigado com microaspersão, com frequência de irrigação de duas vezes por semana, não encontraram diferença significativa na produção final, peso médio e qualidade final dos frutos.

2.8. Métodos de determinação do teor de água do solo

A determinação do teor de água do solo, segundo Tommaselli (1997), pode ser feita por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos consistem na medida direta do conteúdo de água de uma amostra, basicamente por evaporação. Dividem-se em: método gravimétrico com secagem em estufa (método mais preciso e, por isso, considerado padrão para calibração de outros métodos) e método gravimétrico com secagem em forno de microondas. Os métodos indiretos baseiam-se na medida de propriedades físicas ou físico-químicas do solo que sejam proporcionais ao conteúdo de água no solo. São métodos que exigem uma curva de calibração e apresentam a vantagem de serem não destrutivos e proporcionam menor tempo e trabalho na execução das medidas. Dividem-se em: medida da condutividade elétrica/térmica ou capacitância, sonda de nêutrons, atenuação de raios gama, tensiometria e TDR (reflectometria no domínio de tempo). A opção por determinado método varia de acordo com a finalidade, os objetivos e as disponibilidades instrumentais (KLAR, 1991).

Os tensiômetros medem o potencial matricial da água no solo e, indiretamente, a umidade, através da curva de retenção, que relaciona o potencial matricial e o conteúdo da água no solo. Na prática, o uso do tensiômetro está restrito à medida do potencial matricial no intervalo 0 (saturação) a 80 kPa, aproximadamente. Esse intervalo constitui apenas parte pequena do intervalo total de potenciais. Entretanto, na prática corresponde

à principal faixa de umidade do solo de importância para a irrigação (REICHARDT; TIMM, 2004). De acordo com trabalhos realizados com tensiômetros convencionais, grandes oscilações das leituras no aparelho oc

desse método a interferência dos óxidos de ferro e da densidade do solo na determinação da umidade.

A TDR tem sido usada em manejo de irrigação, na determinação da evapotranspiração de culturas, nos padrões de distribuição de água para irrigação localizada, em estudos de absorção de água e nutrientes pelas plantas e avaliação do fluxo de água e nutrientes no solo, além do monitoramento do estado da água no solo para definição do quanto e quando irrigar (COELHO; ARRUDA, 2001).

Para a realização de trabalhos com maiores perfeições nessa linha, Otto (2001) recomendou que a equação de calibração do equipamento fosse determinada para cada tipo de solo, pois a equação sugerida pelo fabricante subestimou os valores de umidade, em relação àqueles determinados pela equação específica do solo estudado.

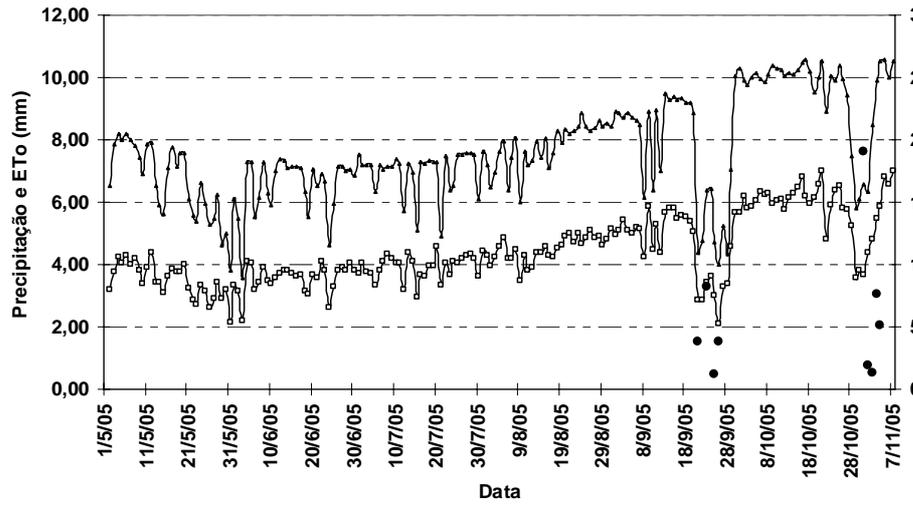
3. MATERIAL E MÉTODOS

A área na qual foi conduzido o experimento pertence à Fazenda Experimental de Mocambinho, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizada em Mocambinho, Município de Jaíba, MG, à latitude de 15°32'S e longitude de 43°46'W, no Norte do Estado de Minas Gerais, e inserida no zoneamento do Projeto de Irrigação Jaíba.

3.1. Características climáticas e de solo da área experimental

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico (90% areia, 2% silte e 8% argila), e o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSwH (clima quente de caatinga), com chuvas de verão e períodos secos bem definidos no inverno. A Figura 1 ilustra a escassez de chuvas, bem como a ocorrência de elevadas taxas de radiação e de evapotranspiração de referência (ET_o), calculada pelo método de Penman-Monteith, durante a condução do experimento.

Durante o período de maio a dezembro de 2005, observou-se que a precipitação acumulada atingiu apenas 23,5 mm (Figura 1), inferior à demanda hídrica de diversas culturas. Além da baixa precipitação ocorrida durante esse período, as condições ambientais de modo geral foram características de clima semi-árido típico, com valores elevados de evapotranspiração de referência (ET_o), em alguns períodos superiores a 7 mm dia⁻¹, e radiação solar superior a 26 MJ m⁻² dia⁻¹.



28c0501g 1535 -2.25154.4(001g 2-54.4 Tw(D).037 -738.925m455343 TD(6.)-46. 7.234. 18687. 318120261107320027180169707153856(06E1.g(867512.34871.00
 8/9/052s7358(7T 6u2840o2.18517.235919700o)d.310

As curvas características de retenção da água no solo, nas quatro profundidades amostradas, apresentaram pequenas variações (Figura 2). A cada curva foram ajustados os parâmetros (Tabela 2) do modelo de Van Genuchten (equação 1), usando o Solver do software Excel.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha|\psi m|)^n]^m} \quad (1)$$

em que: θ = teor de água em equilíbrio com o potencial matricial ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_s = teor de água do solo saturado ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_r = teor de água residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

α , n e m = parâmetros que dependem das características do solo; e

ψm = potencial matricial (kPa).

Tabela 2 – Parâmetros do modelo de Van Genuchten, para o solo da área experimental

	Profundidades (m)			
	0 – 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1,00
θ_r	0,078	0,076	0,068	0,079
θ_s	0,379	0,367	0,374	0,355
α	1,133	0,381	1,687	0,533
m	0,142	0,317	0,120	0,209
n	5,382	5,389	5,039	5,034

Os teores de água no solo à capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) (Tabela 3) foram estimados usando-se o modelo de Van Genuchten (1980) (Equação 1), com os parâmetros da Tabela 2 e considerando potenciais matriciais iguais a – 6 e -1500 kPa, respectivamente.

Tabela 3 – Teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), para as quatro profundidades estudadas

	Profundidades (m)			
	0 – 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1,00
CC	0,152	0,148	0,145	0,164
PMP	0,074	0,068	0,071	0,072

Os baixos valores de capacidade de campo observados estão relacionados à alta porcentagem de areia do solo (90%). A camada de solo de 0,75 a 1,00 m apresentou o maior valor de capacidade de campo, com $0,164 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, seguida da camada de 0 a 0,25 m com capacidade de campo de $0,152 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$. O ponto de murcha permanente médio, nas quatro camadas, foi próximo de $0,07 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (Tabela 3).

3.2. Delineamento experimental

A cultura avaliada foi a lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tanaka), enxertada sobre limão-cravo *Citrus limonia* Osbeck. O experimento foi conduzido com plantas de 4 anos de idade, em espaçamento de 5 x 7 m, e irrigadas por microaspersão, com turno de rega diário. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três tratamentos e seis blocos, sendo cada unidade experimental constituída de três plantas (Figura 3). Foram avaliadas três disposições de sistemas de microaspersores: T1 – um microaspersor por planta, localizado entre plantas ao longo da fileira, com vazão de 35 L h⁻¹; T2 – um microaspersor para duas plantas, localizado ao longo da fileira, com vazão de 70 L h⁻¹; e T3 – um microaspersor por planta, localizado a 0,3 m da planta, com vazão de 35 L h⁻¹. Dessa forma, todas as árvores do pomar receberam o mesmo volume de água, entretanto sob diferentes formas de aplicação.

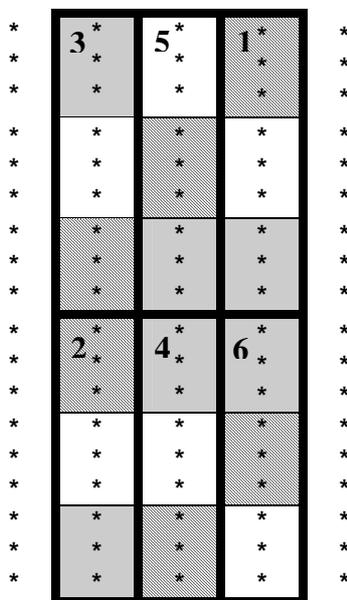


Figura 3 – Croqui da área experimental, sendo ▨ Tratamento 1, ▩ Tratamento 2 e □ Tratamento 3. Os números de 1 a 6 representam os blocos experimentais e * as plantas de lima ácida ‘Tahiti’.

3.3. Condução do experimento

A implantação dos tratamentos ocorreu no final do período chuvoso (início do mês de março), de forma a facilitar a adaptação do sistema radicular aos arranjos dos emissores. Antes do período de estresse, as flores e os frutos foram eliminados para garantir condições iniciais semelhantes. O estresse hídrico, aplicado para influenciar a uniformização do processo de floração e produção do pomar, iniciou-se no dia 17 de maio de 2005, quando as irrigações foram interrompidas, e findou-se no dia 16 do mês seguinte, ocasião em que se reiniciaram as irrigações.

Na condução do experimento, foram adotadas as práticas culturais, conforme recomendações de Coelho (2004) para o cultivo de citros. As irrigações foram realizadas com base na evapotranspiração de referência (ET_o), calculada pelo método de Penman-Monteith, a partir de dados diários coletados em uma estação meteorológica instalada próximo ao local do experimento (Figura 4). O coeficiente de cultivo para determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) foi definido conforme as recomendações de Doorembos e Pruitt (1977). Fixou-se a eficiência de irrigação em 85% para todos os tratamentos e o tempo de irrigação foi obtido pela razão entre a lâmina bruta e a intensidade de aplicação dos microaspersores.



Figura 4 – Estação meteorológica instalada próximo ao local do experimento.

3.4. Determinação da distribuição de água e das zonas de absorção de água pela planta no perfil do solo

O teor de água do solo, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, foi determinado aplicando-se a técnica da refletometria no domínio do tempo (TDR), com o uso da TDR 100 (Campbell Scientific), operando com seis multiplexadores, o que possibilitou a leitura de 48 sensores simultaneamente. As coletas de dados foram realizadas a cada 10 min.

Os sensores utilizados mediram 0,1 m de comprimento e foram calibrados no Laboratório de Irrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, antes da realização das medições no campo. Para calibração, o material de solo coletado na área experimental foi secado ao ar, passado em peneira de 2 mm de malha, colocado em recipientes de PVC de 75 mm de diâmetro e 0,2 m de altura e compactado de forma homogênea até atingir a densidade do solo similar à que se encontrava no campo. O recipiente foi preenchido até a altura de 0,15 m, e na sua base foram colocadas telas de malha fina, com a função de permitir a passagem da água para o exterior, e um papel-filtro para evitar a perda de solo. Os recipientes com solo foram saturados durante 24 horas, inserindo-se em seguida o sensor no solo até cobrir completamente suas hastes. A partir

daí, durante a secagem do solo foram feitas leituras da umidade pela TDR 100 e simultaneamente a pesagem do conjunto (recipiente + solo úmido + sonda), em balança analítica, para determinar o teor de água à base de peso. As leituras foram realizadas duas vezes ao dia, e, à medida que a umidade diminuiu, a frequência de leituras foi reduzida até o intervalo de um dia. Quando o solo atingiu teores de água de $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, as leituras foram interrompidas e as amostras colocadas em estufa a $110 \text{ }^\circ\text{C}$. O teor de água, referente a cada pesagem do conjunto, foi determinada pela equação:

$$\theta_g = \frac{(P_1 - P_2)}{v} \quad (2)$$

em que: θ_g = teor de água do solo, determinado pelo método gravimétrico ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

P_1 = peso do conjunto (solo úmido + recipiente + sonda);

P_2 = peso do conjunto (solo seco + recipiente + sonda); e

v = volume do solo contido no recipiente.

A partir dos pares de teor de água, determinados pelo método gravimétrico (θ_g) e lidos com a TDR (θ_e), obteve-se a equação de calibração da TDR, com r^2 de 0,95:

$$\theta_g = -2,1048.\theta_e^2 + 1,97.\theta_e - 0,1374 \quad (3)$$

em que: θ_e = teor de água lido na TDR ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

Na determinação do teor de água do solo, durante a condução do experimento, sensores de TDR foram instalados em duas trincheiras, com um mês de antecedência ao estresse hídrico, sendo uma trincheira na linha e outra perpendicular à linha de plantas, com a planta no centro (Figura 5). Nessas trincheiras, os sensores foram dispostos de modo a formar uma malha de $0,25 \times 0,25 \text{ m}$, com exceção de alguns sensores instalados a $0,05 \text{ m}$ de profundidade, atingindo radialmente uma distância máxima de $2,5$ e $2,0 \text{ m}$ da planta nas direções longitudinal e perpendicular à fileira de plantas, respectivamente, e verticalmente uma profundidade máxima de $1,0 \text{ m}$. Esse arranjo de sondas foi montado para uma planta de cada tratamento em um mesmo bloco. Essa disposição possibilitou o monitoramento da extração de água pelo sistema radicular (Figura 6). Em cada tratamento, também foram instalados tensiômetros para auxiliar o monitoramento da umidade do solo a $1,5 \text{ m}$ de distância da planta, nas profundidades de $0,3$ e $0,7 \text{ m}$, conforme utilizado por produtores para manejo do pomar.

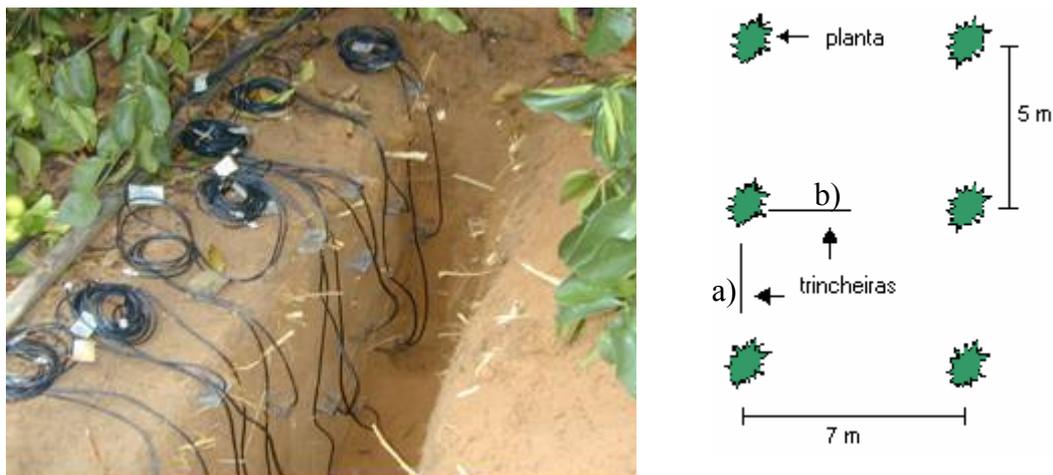


Figura 5 – Trincheiras escavadas na direção longitudinal (a) e perpendicular (b) à fileira de plantas de lima ácida ‘Tahiti’.

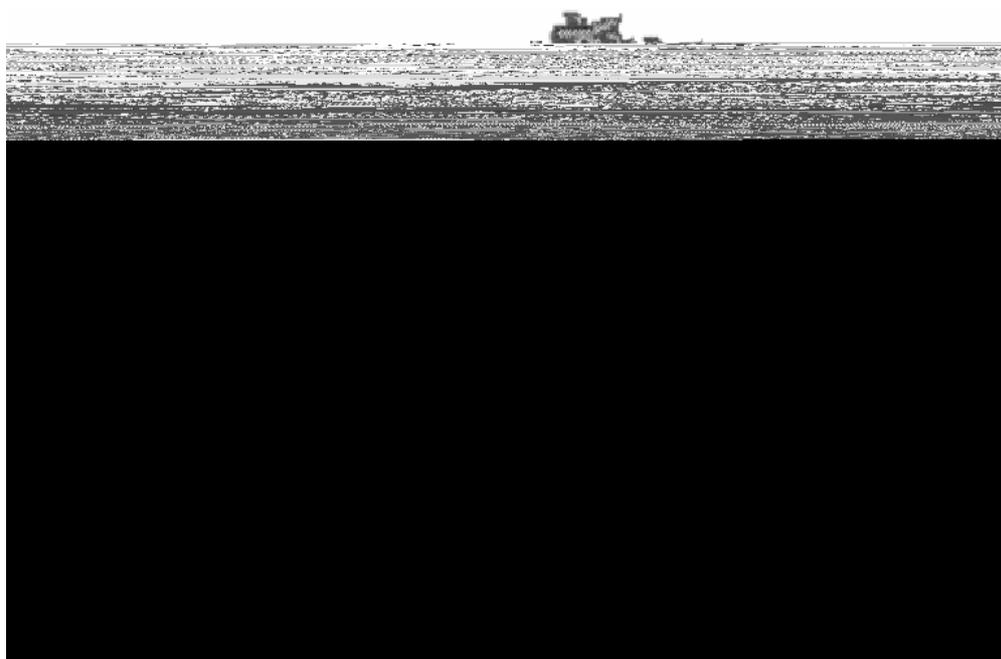


Figura 6 – Representação esquemática do posicionamento das sondas nos perfis do solo longitudinal (a) e perpendicular (b) à linha de plantas; dos sensores de fluxo de seiva (c) instalados nos galhos da lima ácida ‘Tahiti’; e do equipamento de leitura (d), contendo sensores ligados aos multiplexadores e a TDR 100.

As leituras de umidade, durante a fase de enchimento dos frutos, foram realizadas, automaticamente, a cada 10 min e os valores, armazenados em um datalogger. Essas determinações foram feitas durante três ciclos de irrigação, com o solo sem cobertura, e durante dois ciclos, realizando-se a cobertura plástica sobre o solo após as irrigações, para evitar as perdas por evaporação.

Como os tratamentos foram avaliados em dias diferentes, escolheram-se os dias em que os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) foram similares, para diminuir possíveis erros na comparação entre os tratamentos.

As porcentagens de água disponível no perfil do solo foram determinadas com base na curva característica de água no solo, em cada profundidade, de acordo com a equação:

$$AD = \left(\frac{\theta - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

em que: AD = água disponível no perfil do solo (%);

θ = teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_{pmp} = teor de água no solo no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); e

θ_{cc} = teor de água no solo na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

A partir dos teores de água determinados nos perfis, foram traçados isolinhas de umidade com intervalo de uma hora, empregando-se o programa Surfer. As diferenças dos valores de teores de água entre os perfis de 1 h após a irrigação e imediatamente antes da próxima possibilitaram calcular, de acordo com a metodologia proposta por Coelho e Or (1996), a porcentagem de extração de água pela planta em diferentes profundidades. Para esse cálculo, selecionaram-se os dias em que o solo foi coberto com plástico após a irrigação, para evitar as perdas por evaporação. Os valores percolados foram descontados do volume resultante da variação de umidade no perfil, isto é:

$$Ext = \theta d - \theta a - P \quad (5)$$

em que: Ext = extração de água do solo pelas raízes ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θd = umidade do solo 1 h depois da irrigação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θa = umidade do solo imediatamente antes da próxima irrigação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); e

P = percolação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Os teores de água percolados na última camada de solo avaliada foram obtidos a cada hora após a irrigação até antes da próxima. Considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, para os dois perfis avaliados, a percolação ocorrida de uma hora após a irrigação até imediatamente antes do início da próxima foi obtida integralizando os teores de água percolada.

A lâmina de água aplicada na superfície do solo foi medida com copos coletores distribuídos radialmente nas linhas onde estavam instalados os sensores de umidade do solo, na linha e entrelinha de plantio, durante um evento de irrigação nos três tratamentos avaliados. O espaçamento entre coletores foi de 0,5 m a partir do microaspersor até 4,0 m.

3.5. Fluxo de seiva

O transporte de água pelas plantas foi determinado por meio do cálculo do fluxo de seiva, pelo método do balanço de calor caulinar, segundo metodologia proposta por Baker e Van Bavel (1987). Nesta metodologia, um sensor foi instalado numa secção do ramo da planta, e uma fonte forneceu calor à taxa constante (P_{in}) para o volume amostrado. O fluxo de calor aplicado redistribuiu-se de acordo com:

$$P_{in} = Q_r + Q_v + Q_s + Q_f \quad (6)$$

em que: Q_r = fluxo de calor que sai radialmente através do sensor;

Q_v = calor transportado axialmente pelo caule acima e abaixo do volume aquecedor;

Q_s = calor armazenado por unidade de tempo na secção aquecida; e

Q_f = calor transportado por convecção pela seiva da planta.

Observa-se, na Figura 7a, que numa secção do ramo da planta foi instalado um sensor, ajustado à sua superfície. Nessa secção, estimou-se o fluxo de seiva pelo método de balanço de calor no caule, com os sensores comerciais dos modelos SGB9, SGB13, SGB16 e SGB19, Dynamax. Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição e armazenamento de dados pelo "datalogger" e associado a um multiplexador de canais. Esses sensores possuem uma jaqueta térmica para dissipação de calor, um fluxímetro de termopilha para quantificação do fluxo radial e de junções de termopar de cobre-constantan convenientemente dispostas para medir o fluxo de calor axial por condução no caule.

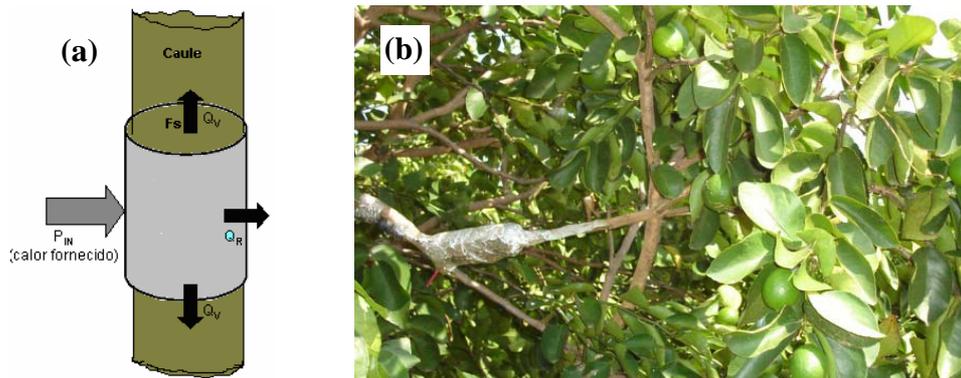


Figura 7 – Representação da constituição do sensor de fluxo de seiva e dos componentes do balanço de calor em um segmento de caule (a) e detalhes do isolamento do sensor de fluxo de seiva (b).

A potência aplicada pelo elemento aquecedor foi calculada pela equação:

$$P_{in} = \frac{V^2}{R} \quad (7)$$

em que: V = voltagem fornecida (volt); e

R = resistência (ohm) do elemento aquecedor, com valores de 111,9 Ω ; 111,6 Ω ; 90,8 Ω ; e 60,6 Ω , respectivamente nos modelos SGB9, SGB13, SGB16 e SGB19 utilizados.

Os fluxos radiais (Q_r) foram estimados a partir do conhecimento da condutividade térmica do substrato de cortiça (K_{sh}), do qual é constituído o fluxímetro radial e da diferença de temperatura (ΔT) adjacente ao elemento aquecedor e da superfície externa da cortiça, calculada com uma termopilha com junções alternadas (fluxímetro), anexada ao aquecedor.

$$Q_r = K_{sh} \Delta T \quad (8)$$

O valor de K_{sh} foi calculado ao amanhecer (4 - 5 h), quando o fluxo de seiva é nulo ou quase nulo.

Os fluxos axiais (Q_v) foram calculados da seguinte forma:

$$Q_v = AK_{st} \frac{(\Delta T_c - \Delta T_b)}{\Delta z} \quad (9)$$

em que: A = foi a área da secção transversal do caule aquecido; e

K_{st} = condutividade térmica do caule, considerado 0,42 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, segundo Steinberg et al. (1989);

ΔT_c e ΔT_b = estão relacionados com o gradiente de temperatura superior e inferior sobre o segmento do caule aquecido; e

Δz = distância entre os d

metodologia recomendada por Mars et al. (1994) para avaliação de parâmetros fisiológicos. As leituras foram realizadas simultaneamente a cada segundo, sendo as médias armazenadas a cada 20 min, durante três dias, em uma planta de um tratamento e nas fases de floração e frutificação. Durante os períodos de estimativa do fluxo de seiva, foram monitoradas a evapotranspiração de referência (ET_o) e a radiação solar global para auxiliar a discussão dos resultados.

Nesse contexto, o fluxo de seiva ($FS - L \text{ dia}^{-1}$) foi calculado pela seguinte equação:

$$FS = \frac{Pin - Qv - Qr}{cp\Delta T} \quad (10)$$

em que: cp = calor específico da seiva ($cp = 4,186 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$); e

ΔT = a diferença de temperatura da seiva entre os limites superior e inferior do segmento aquecido.

Para determinação do fluxo de seiva da planta por dia, mediu-se a área foliar de cada ramo onde foi estimado o fluxo de seiva ($L \text{ m}^{-2} \text{ de folha dia}^{-1}$). Para a estimativa do fluxo de seiva acumulado em 24 horas (correspondente à transpiração), ocorrida em toda a planta, fez-se a média da transpiração que houve entre os ramos avaliados e a converteu em transpiração total, através da quantificação das áreas foliares totais das plantas.

As áreas foliares totais das plantas ($AFT - \text{m}^2$) estudadas foram calculadas com base na equação:

$$AFT = SF.NF \quad (11)$$

em que: NF = número total de folhas da planta;

SF = superfície média das folhas da planta, estimadas a partir da medida direta do comprimento (C) e largura (L) de 10% do total das folhas, de acordo com a equação 12, sugerida por Coelho Filho et al. (2003).

$$SF = 0,72.C.L \quad (12)$$

3.6. Mapeamento do sistema radicular da lima ácida ‘Tahiti’

Após a colheita dos frutos, amostras de solo foram coletadas com uma sonda de ferro galvanizado de 0,10 m de diâmetro e 1,30 m de comprimento, nos mesmos pontos de instalação das sondas de TDR (Figura 8), a partir de 0,25 m do tronco da planta, afastando-se dele a cada 0,25 m até 2,50 m na linha de plantio. Foram retiradas amostras

das camadas de 0,0 - 0,10; 0,20 - 0,30; 0,45 - 0,55; 0,70 - 0,80 e 0,95 - 1,05 m de profundidade. A coleta foi realizada em três plantas de cada tratamento.

As amostras, previamente identificadas (Figura 8), foram lavadas para a separação das raízes do solo, via dispersão, em água corrente, em um sistema de peneiras com malhas de 0,5 e 1,0 mm. Em seguida, as raízes foram conservadas em uma solução com 50% de álcool até serem distribuídas em filmes de transparência, para obtenção de imagens em *scanner* de mesa com resolução de 600 dpi, escala 100% e intensidade de 100 a 130%, para raízes mais grossas; e 43 a 62%, para raízes mais finas (KASPAR; EWING, 1997).



Figura 8 – Detalhes da coleta de amostras para determinação do sistema radicular.

As imagens das raízes foram digitalizadas em arquivos TIFF (Tagged Image File Format). Esses arquivos foram processados no *software* Rootedge (KASPAR; EWING, 1997) para determinação dos comprimentos e diâmetros das raízes.

As raízes foram separadas em seis classes de diâmetros (Tabela 4) e os seus comprimentos, somados, para obtenção do comprimento total nas diferentes camadas de solo.

Tabela 4 – Classes de diâmetro de raízes

Diâmetro das Raízes (mm)	Classificação *
< 0,5	Muito fino
0,5 – 2,0	Fino
2,0 – 5,0	Pequeno
5,0 – 10,0	Médio
10,0 – 20,0	Grosso
> 20,0	Muito grosso

* Bohm (1979).

O comprimento das raízes permitiu determinar a densidade de comprimento de raízes, pela equação:

$$DCR = \frac{L_R}{V_R} \quad (13)$$

em que: DCR = densidade de comprimento de raízes (cm cm^{-3});

L_R = comprimento total das raízes na amostra (cm); e

V_R = volume total da amostra de solo (cm^3).

As isolinhas de densidade de comprimento de raízes e superfície de resposta das porcentagens de comprimento de diferentes classes de diâmetros foram elaborados com o uso do *software* Surfer 7.0. Para tanto, utilizou-se a média de três plantas por tratamento.

3.7. Medidas fisiológicas

Para avaliar possíveis estresses hídricos nas plantas, foram medidas a condutância estomática (C_s), a temperatura foliar (T_f) e a transpiração foliar (T_{rn}), com porômetro LI-1600 (LI-COR, USA), bem como o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) com uma bomba de pressão de Scholander et al. (1965). Foi selecionada uma planta útil de cada tratamento, em três blocos aleatórios. As copas das plantas selecionadas foram divididas em quatro quadrantes, nos sentidos norte, sul, leste e oeste, nos quais foram feitas as leituras, em folhas fisiologicamente maduras, a aproximadamente 0,1 m do ápice do ramo, não sombreadas e localizadas no terço médio da copa, a uma altura aproximada de 1,5 m.

As leituras foram feitas com intervalos de 3 h durante o dia, nos horários de 8, 11, 14 e 17 h, para avaliar as C_s , T_f , T_{rn} e Ψ_{wf} , em que no último também foram feitas leituras às 5 h da manhã. Esse procedimento foi repetido em três períodos distintos: ao final do estresse hídrico do processo de indução floral, na fase de floração e na fase de enchimento dos frutos. As medições foram executadas em dias típicos sem nebulosidade, para evitar instabilidades causadas por variações rápidas da radiação solar.

As análises estatísticas foram feitas no delineamento experimental de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas, considerando-se os tratamentos como parcela, os quadrantes como subparcelas e os horários do dia como subsubparcelas. Os dados foram submetidos à análise de variância. As médias dos dados dos fatores qualitativos foram comparadas pelo testes de Tukey a 5% de probabilidade.

As médias dos dados correspondentes aos fatores quantitativos foram submetidas à análise de regressão.

3.8. Produtividade e características avaliadas dos frutos

A produtividade foi avaliada com delineamento em blocos casualizados, nos três tratamentos e seis blocos. Os frutos de cada planta útil do tratamento foram coletados, contados e pesados.

Considerando que o nível de radiação solar interceptado e a extração de água pela planta podem provocar, dentre outras coisas, alteração no crescimento dos frutos e incrementos diferenciados nos seus teores de açúcares e ácido ascórbico (TEIXEIRA; AZEVEDO, 1994), os frutos foram avaliados da seguinte maneira: selecionou-se, durante a floração, um ramo de cada quadrante (norte, sul, leste e oeste) da planta útil dos três tratamentos e dos seis blocos avaliados. Neles, avaliou-se o crescimento dos frutos desde a emergência até a colheita, sendo os diâmetros dos frutos medidos com um paquímetro. As análises estatísticas foram realizadas no programa “SAEG 9.0” (2005), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, considerando delineamento em parcelas subdivididas, os tratamentos como parcela, os quadrantes como subparcelas e os dias após a antese como subsubparcelas. Os dados foram avaliados por meio de análises de variância e regressão e de testes de médias de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

Analisou-se a porcentagem de pegamento dos frutos nos ramos selecionados, por quantificação do número de frutos gerados após a floração e posteriormente colhidos.

$$Pf = \frac{nfc}{nfg} \cdot 100 \quad (14)$$

em que: Pf = porcentagem de pegamento dos frutos;

nfc = número de frutos colhidos; e

nfg = número de frutos gerados após a floração.

A análise estatística foi realizada com o uso do programa Sisvar (2000), considerando delineamento em parcelas subdivididas, sendo os tratamentos as parcelas e os quadrantes, as subparcelas.

Quanto aos indicadores físico-químicos dos frutos, foram avaliados os frutos provenientes dos quatro ramos marcados, seguindo-se características recomendadas por Coelho e Cunha (1982): massa dos frutos, porcentagem de suco, sólidos solúveis totais, ácido ascórbico e ácido cítrico.

Os frutos coletados foram embalados em sacos plásticos e levados para o Laboratório de Tecnologia de Alimentos da EMBRAPA – CNPMF, onde foram realizadas as análises: A massa do fruto foi determinado usando-se uma balança digital. Obteve-se a porcentagem de suco pela relação porcentual entre a massa do suco e a massa total da amostra. Os sólidos solúveis totais foram determinados com o emprego de um refratômetro portátil ATAGO N 1, e o ácido cítrico e o ácido cítrico foram calculados das formas convencionais.

A análise estatística foi realizada com o uso do programa Sisvar, seguindo um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos dos sistemas de irrigação e nas subparcelas os quadrantes, no delineamento em blocos casualizados com seis repetições. Os dados foram analisados por meio de análise de variância. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Distribuição de água pelos microaspersores

A distribuição de água na superfície do solo no tratamento T1 (um microaspersor por planta localizado no semi-espaco entre elas) (Figura 9a), mostra que as maiores intensidades de aplicação de água foram observadas na direção longitudinal, em pontos mais próximos ao microaspersor, situado a 2,5 m da planta, reduzindo bastante a intensidade à medida que se afastava dele. O raio de alcance dos microaspersores foi de aproximadamente 3,0 m.

Analisando a distribuição de água na superfície do solo (Figura 9b) no tratamento T2 (um aspersor para duas plantas), verificou-se que os maiores valores de intensidade de precipitação ocorreram na direção longitudinal e nas proximidades da planta (0,25 m) e do aspersor (2,5 m). O raio de alcance dos microaspersores foi de aproximadamente 4,0 m.

No caso do tratamento T3 (um microaspersor por planta, localizado junto à planta), as distribuições de água na superfície do solo, nas direções transversal e longitudinal à fileira de plantas, foram similares (Figura 9c). Os maiores valores foram registrados nas proximidades do microaspersor e da planta (0,5 m), com redução na intensidade de precipitação à medida que se distanciava do emissor. O raio de alcance dos microaspersores foi de aproximadamente 3,0 m.

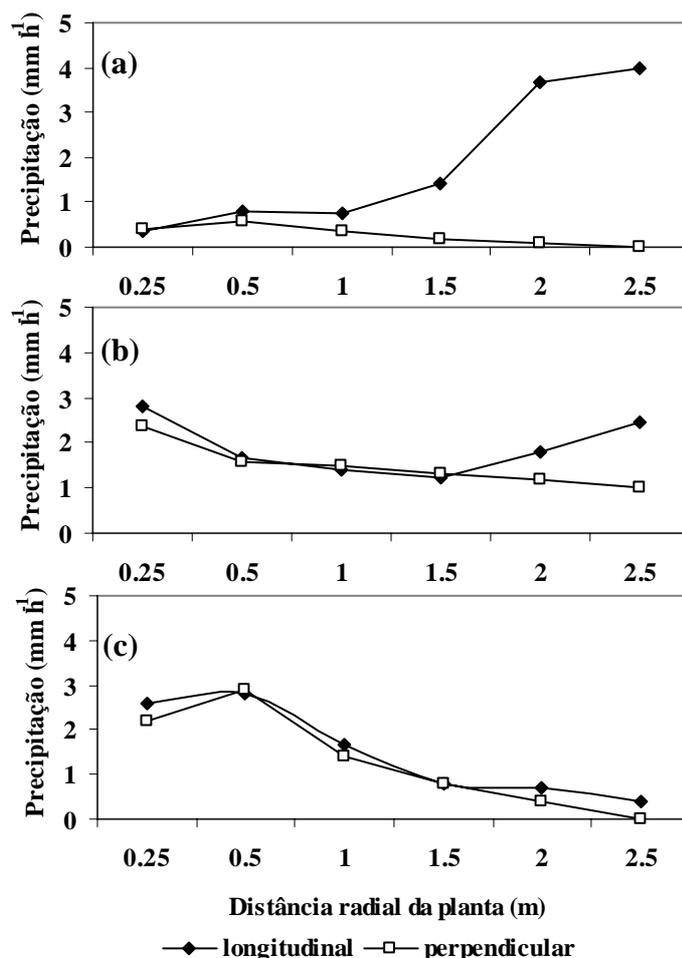


Figura 9 – Distribuição de água nos perfis referentes aos sentidos longitudinal e perpendicular à fileira de plantas, nos tratamentos T1 (a), T2 (b) e T3 (c).

4.2. Distribuição de água no solo

Os valores de tensão de água no solo, medidos antes da irrigação, no período analisado, indicaram variação entre os tratamentos (Figura 10). Observou-se, nas profundidades de 0,3 m (Figura 10a) e de 0,7 m (Figura 10b), que no início de outubro ocorreu relativa queda na tensão de água no solo, nos três tratamentos, o que está relacionado com a ocorrência de precipitações de baixa intensidade antes do momento da leitura dos tensiômetros. Com base nesses dados, pode-se inferir que as plantas estavam sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. No entanto, devido ao fato de a disponibilidade de água no solo apresentar características diferentes em cada tratamento, a avaliação do teor de água por meio de tensiômetros instalados nas mesmas distâncias e profundidades em todos os tratamentos não é conveniente, pois pode levar a conclusões equivocadas, em função das diferenças na localização dos tensiômetros em relação aos perfis de distribuição de água no solo.

Para Kiehl (1979), a quantidade de água armazenada no solo e disponível às plantas varia com a granulometria, textura e outras características do solo, levando a planta a apresentar diferentes respostas em seus mecanismos de resistência morfofisiológicos. Os valores médios de potencial matricial da água no solo antes da irrigação, à profundidade de 0,3 m, foram de 49,2; 51,6; e 52,4 kPa, nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, indicando alguma diferença entre os tratamentos. Segundo Coelho et al. (2004), de maneira geral os potenciais matriciais das culturas cítricas devem ser mantidos entre -15 e -30 kPa, a 0,30 m de profundidade, apesar de existirem recomendações para manutenção de valores entre -30 e -45 kPa e de os valores adotados em irrigação localizada poderem ser maiores que os utilizados em aspersão. Pires (1992) mencionou valores de potencial da água no solo entre -50 e -70 kPa para indicar o momento de irrigar. Apesar de o manejo dos tratamentos corroborar o indicado por alguns autores, o fato de os tensiômetros estarem localizados em diferentes perfis de disponibilidade de água no solo dificulta a comparação entre os tratamentos por essa técnica.

Com relação à profundidade de 0,7 m, observou-se que os tratamentos apresentaram comportamentos similares. A tensão média de água no solo, antes da irrigação, a 0,7 m de profundidade, durante o período de vigência do experimento foi de 68, 71 e 74 kPa nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

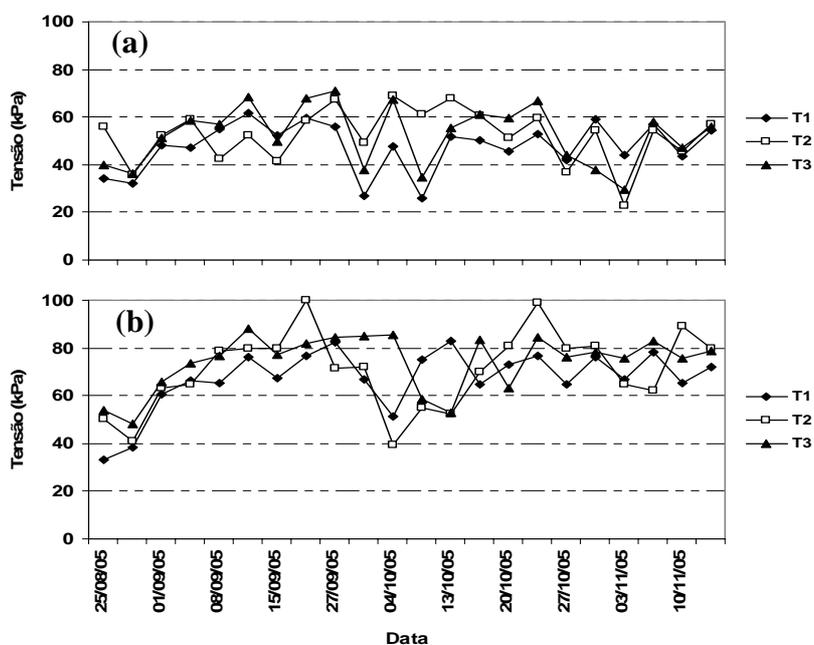


Figura 10 – Variação da tensão de água no solo, durante o período em que o trabalho foi desenvolvido, com tensiômetros instalados: (a) 0,3 m e (b) 0,7 m de profundidade.

As distribuições do teor de água nos perfis longitudinal e transversal do tratamento T1, uma hora após a irrigação e antes da próxima, estão apresentadas nas Figuras 11 e 12, respectivamente. No perfil longitudinal (Figura 11a) à fileira de plantas, nota-se que os maiores teores de água do solo se localizaram na região de 0 a 0,6 m de profundidade e à distância horizontal da planta de 1,5 a 2,5 m. Essa distribuição apresenta grande relação com a distribuição de água do microaspersor, conforme comentado anteriormente. Verifica-se no perfil antes da próxima irrigação (Figura 11b) que nessa região os valores de teor de água diminuíram significativamente, o que pode ter ocorrido devido à extração de água pelo sistema radicular da planta e pela maior evaporação da água, uma vez que próximo ao meio-dia existia maior incidência de radiação solar nesse local. Allen et al. (1998) comentaram que cobertura diferenciada do solo faz com que os efeitos de evaporação na superfície do solo sejam diferentes, sendo maior quanto menor a área sombreada, o que pode provocar certa deficiência de água para a cultura.

No perfil do solo transversal à fileira de plantas (Figura 12), os maiores teores de umidade do solo se localizam a até 0,6 m de distância horizontal da planta e na profundidade de 0 a 0,6 m, uma hora após a irrigação. Essa disposição está possivelmente relacionada à distribuição de água dos microaspersores e ao fato de a água aspergida ter atingido a folhagem da planta, favorecendo o aumento da umidade naquele local. Antes da próxima irrigação, a umidade maior é observada na distância horizontal da planta entre 0 e 0,6 m e profundidades entre 0,6 e 1,0 m, que, além dos comentários citados anteriormente, podem estar associados à maior extração de água pelas raízes nas regiões menos profundas.

A Figura 13 mostra as isolinhas da disponibilidade total de água nos perfis longitudinal e transversal à fileira de plantas, no tratamento T1, uma hora após a irrigação. Observa-se na Figura 13a que, nas proximidades do aspersor (distâncias radiais da planta igual ou superior a 2,0 m) e na camada até aproximadamente 0,6 m de profundidade, a disponibilidade total de água no solo é superior a 100%, indicando excesso de aplicação de água nessa região. Observa-se ainda, nessa figura, que, de 0 a 2,5 m de distância da planta e até 0,8 m de profundidade, a água disponível foi maior que 70%. No perfil transversal à fileira de plantas (Figura 13b), os teores de água disponível maiores que 70% se localizaram de 0 a 0,7 m de profundidade e até a distância horizontal da planta de 0,6 m. Allen et al. (1998) recomendaram como nível crítico um esgotamento de 50% da água disponível, considerando uma planta de citros

com 20% de cobertura do solo, com 0,8 a 1,1 m de profundidade do sistema radicular e sob uma evapotranspiração de referência de 5 mm. Essa distribuição está em conformidade com a afirmação de Pizarro (1990) de que, no caso de fruteiras irrigadas por microaspersão, as características naturais do equipamento de irrigação e a sua localização em relação à planta influenciam o perfil de distribuição de água disponível e alteram também sua absorção.

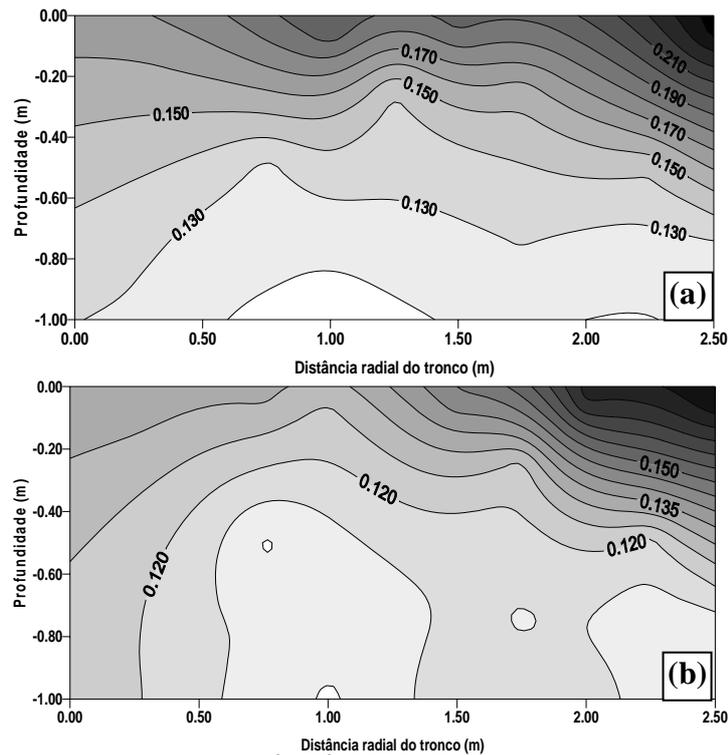


Figura 11 – Teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) no perfil longitudinal à fileira de plantas uma hora após a irrigação (a) e imediatamente antes da próxima (b), no tratamento T1, sem cobertura plástica sobre o solo.

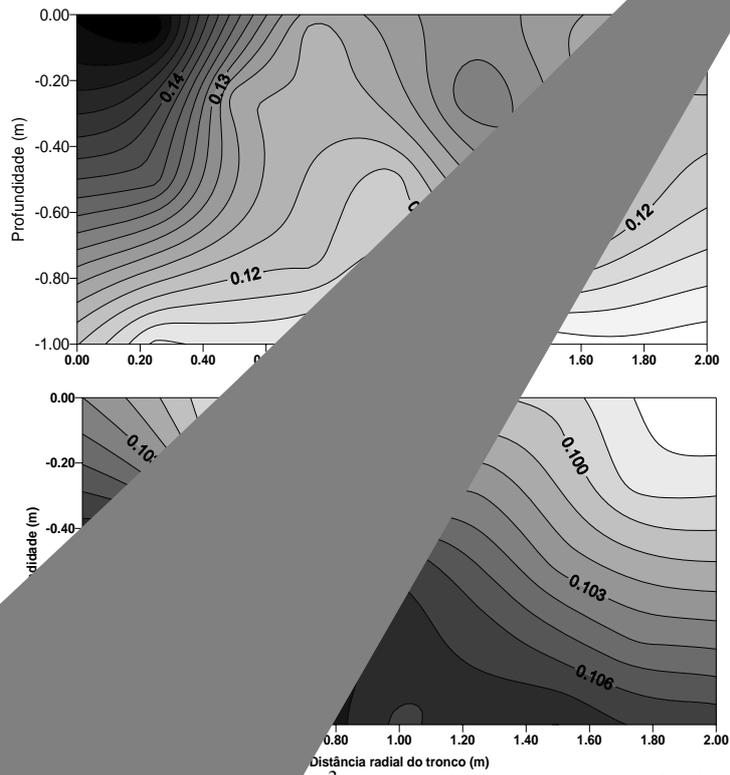
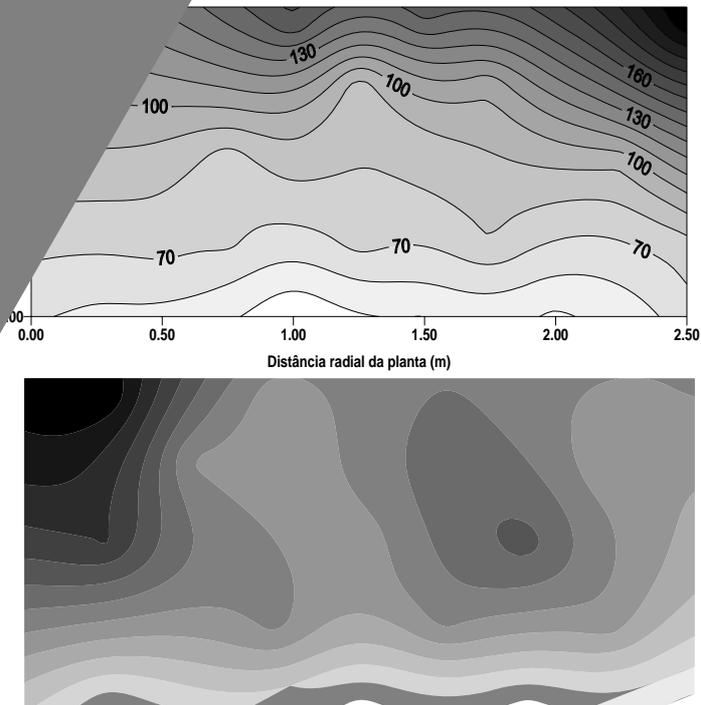


Fig. 1. Distribuição da umidade (m³ m⁻³) no perfil transversal à fileira de plantas uma semana após a irrigação (a) e imediatamente antes da próxima (b), no sistema de cobertura plástica sobre o solo.



A partir da avaliação diária do teor de água no perfil do solo, com a área útil da planta coberta com plástico, gerou-se o perfil de extração de água longitudinal (Figura 14a) e transversal à fileira de plantas (Figura 14b). A diferença entre os teores de água após a irrigação e antes da próxima corresponde à extração da água pelas raízes da planta, uma vez que a evaporação da água do solo foi interrompida pela cobertura do solo, e a percolação calculada foi diminuída daquela diferença.

A Figura 14a ilustra que a extração da água do solo no perfil longitudinal à fileira de plantas alcançou de 0 a 2,5 m de distância da planta com os maiores valores até 0,6 m de profundidade. No perfil completo, observaram-se alguns picos ocorridos na profundidade de 0 a 0,25 m e distâncias da planta de 1,0 m ($0,065 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e 2,5 m ($0,065 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). No perfil transversal à fileira de plantas, os teores de extração de água mais acentuados foram até 0,6 m de profundidade nas distâncias da planta de 0 a 0,6 m e de 1,0 a 1,5 m, com picos de $0,040$ e $0,026 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente. Essa maior extração nesses locais está relacionada à maior disponibilidade de água e concentração de raízes.

Esses resultados divergem um pouco dos apresentados por Santos et al. (2005), também para lima ácida ‘Tahiti’, em que a extração ocorreu até 1,5 m de distância horizontal da planta. Essa diferença provavelmente esteja relacionada a diferenças no manejo da irrigação, como frequência de irrigação, características dos solos das áreas experimentais e diferentes tipos de porta-enxerto das plantas.



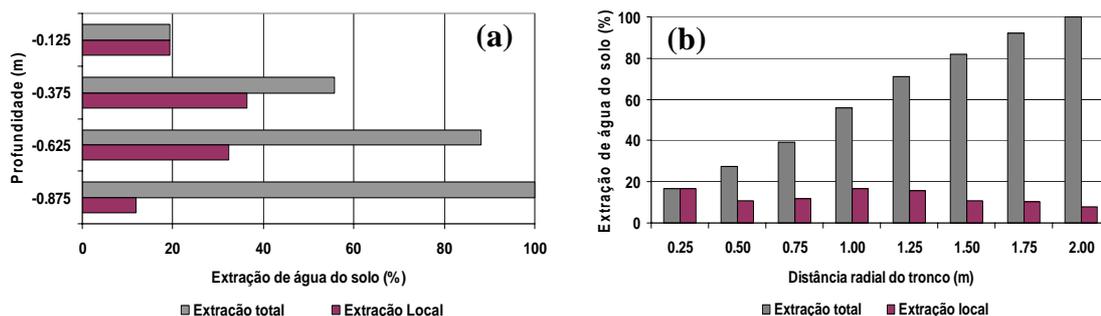


Figura 16 – Extração total e local de água no perfil transversal à fileira de plantas, no tratamento T1, nas profundidades do perfil do solo (a) e distâncias radiais em relação à planta (b).

Por meio da integração horária da percolação durante o dia, observa-se, na Figura 17, que o volume percolado foi pequeno, tanto na linha quanto na entrelinha, e os maiores picos ocorreram próximos à planta e ao microaspersor na linha (2,5 m) e à planta na entrelinha (2,0 m).

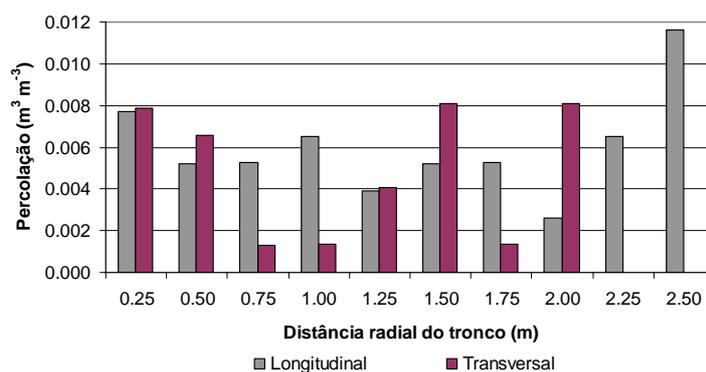


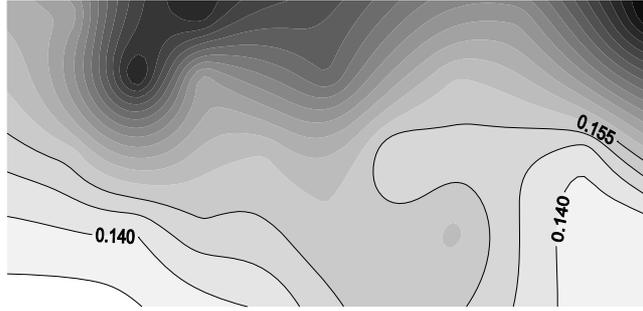
Figura 17 – Percolação diária de água no perfil do solo, longitudinal e transversal à fileira de plantas, no tratamento T1.

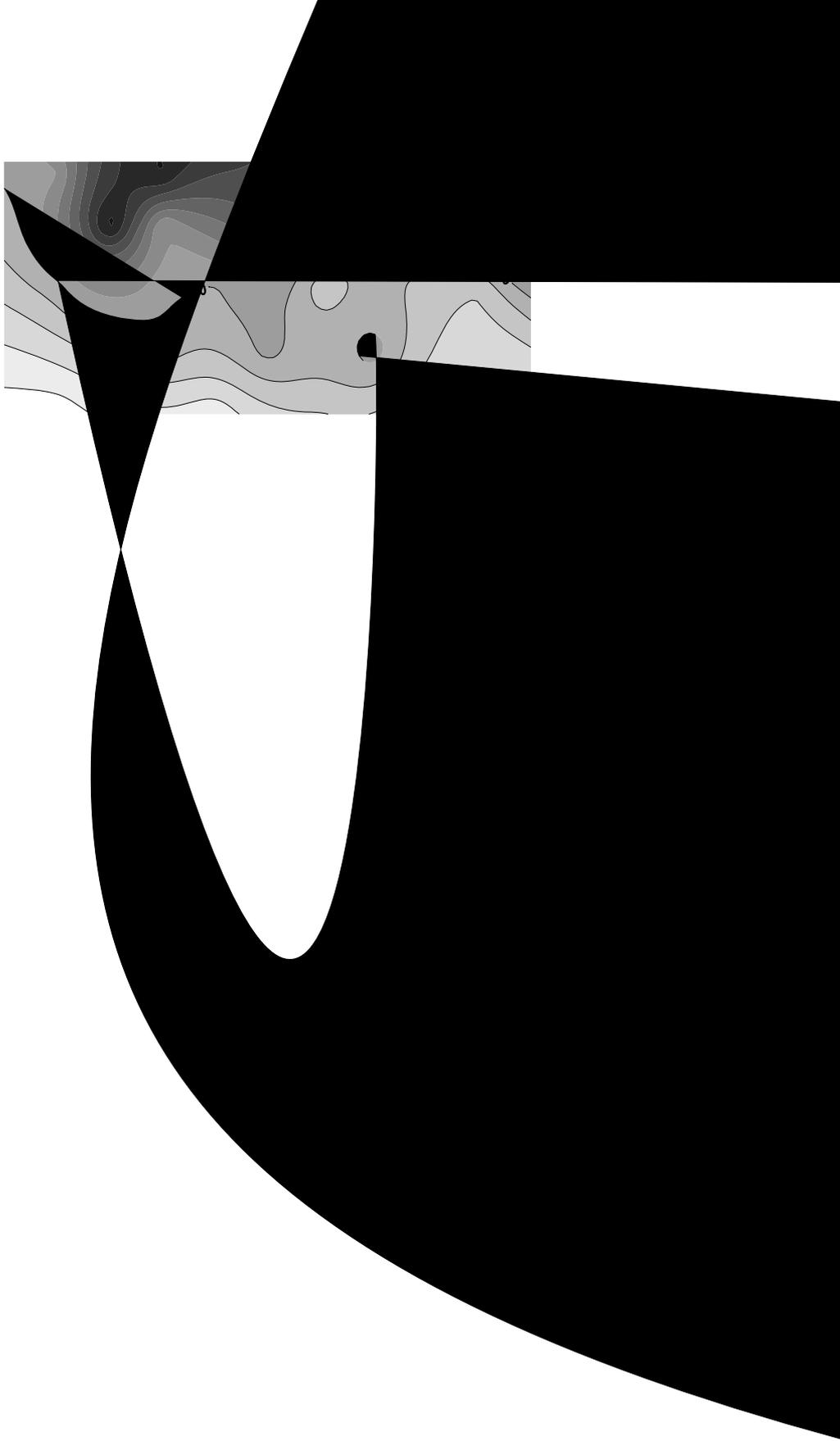
As distribuições do teor de água nos perfis longitudinal e transversal, do tratamento T2, uma hora após a irrigação e antes da próxima, estão apresentadas nas Figura 18 e 19, respectivamente. No perfil longitudinal (Figura 18) à fileira de plantas, notou-se que os maiores teores de água do solo se localizaram na região de 0 a 0,6 m de profundidade e a distâncias horizontais da planta de 0 a 1,5 m e 2,0 a 2,5. Essa distribuição mostra um pouco de relação com a distribuição de água do microaspersor, conforme comentado anteriormente. Verifica-se, no perfil antes da próxima irrigação (Figura 18b), que nessa área os valores de teor de água no solo diminuíram significativamente. Esse fato está relacionado à extração de água pelo sistema radicular da planta, pois só existe microaspersor de um lado da planta e também pela maior

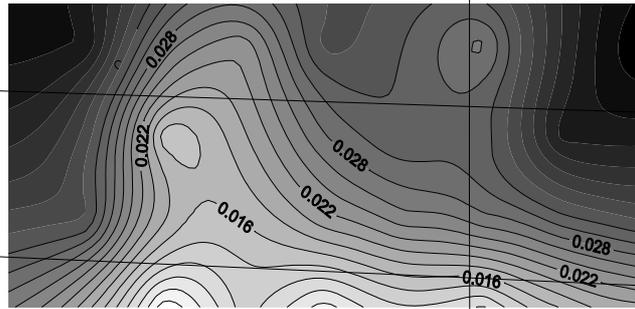
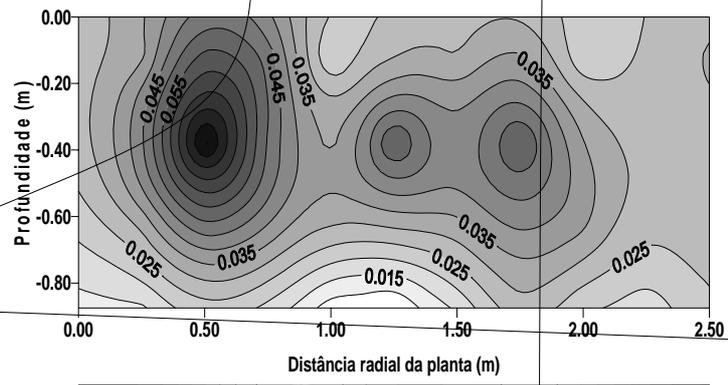
evaporação da água na distância 2,0 a 2,5 m, uma vez que próximo ao meio-dia existia incidência da radiação solar nesse local.

No perfil do solo transversal à fileira de plantas (Figura 19), os maiores teores de umidade do solo se localizam de 0 a 0,6 m e de 0,8 a 2,0 m de distância horizontal da planta e profundidade de 0 a 0,6 m, uma hora após a irrigação. Essa disposição está possivelmente relacionada à distribuição de água dos microaspersores e ao fato de a água aspergida ter atingido a folhagem da planta, favorecendo o aumento da umidade naquele local, a qual, comparado com o tratamento T1, mostrou-se bem superior. Antes da próxima irrigação, a umidade maior é observada na distância horizontal da planta entre 0,5 e 1,5 m e profundidades entre 0 e 0,4 m, que devem estar associados ao alto teor de umidade após a irrigação nesses locais.

A Figura 20 mostra as isolinhas da disponibilidade total de água nos perfis longitudinal e transversal à fileira de planta, no tratamento T2, uma hora após a irrigação. Observa-se no perfil longitudinal (Figura 20a) que, de 0 a 2,5 m de distância da planta e até 0,8 m de profundidade, a disponibilidade total de água no solo foi superior a 80%. Já no perfil transversal à fileira de plantas a disponibilidade total de água no solo foi superior a 70% até 0,6 m de profundidade, nas distâncias da planta de 0 a 0,4 e de 1 a 2 m. O percentual de água disponível maior que 100% nesse tratamento, uma hora após a irrigação, nas camadas avaliadas, está relacionado à disposição de apenas um microaspersor para duas plantas, aplicando-se o dobro da vazão dos outros tratamentos, com maior porcentagem de distribuição e baixo valor de capacidade de campo para retenção de água nesse solo arenoso (em média $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).







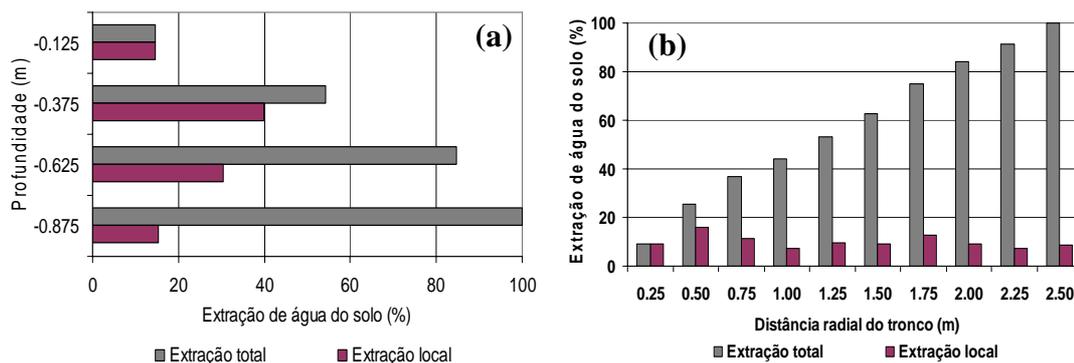


Figura 22 – Extração total e local de água no perfil longitudinal à fileira de plantas, no tratamento T2, nas profundidades do perfil do solo (a) e distâncias radiais em relação à planta (b).

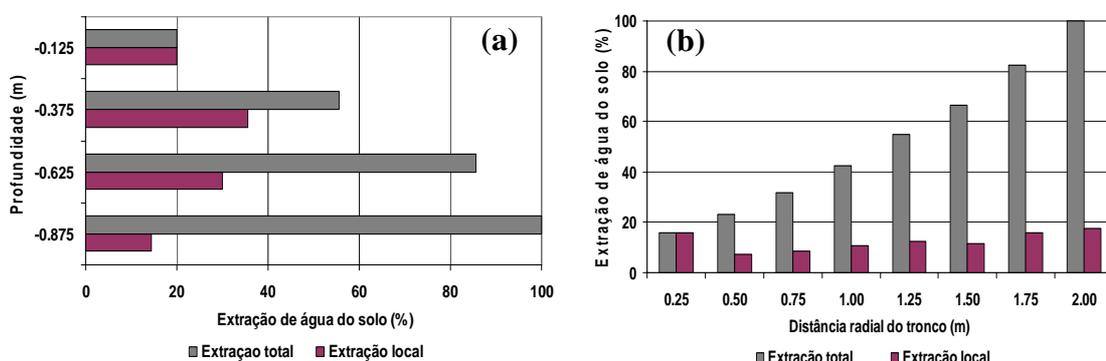


Figura 23 – Extração total e local de água no perfil transversal à fileira de plantas, no tratamento T2, nas profundidades do perfil do solo (a) e distâncias radiais em relação à planta (b).

Por meio da integração horária da percolação ao longo do dia, observa-se, na Figura 24, que o volume percolado foi pequeno, apenas um pouco maior que o do T1, tanto na linha quanto na entrelinha. Os maiores picos ocorreram a 0,25 e a 1,0 m de distância do tronco, na linha e na entrelinha, o que possivelmente está relacionado à maior umidade nesses locais após a irrigação, como discutido nos gráficos de disponibilidade de água.

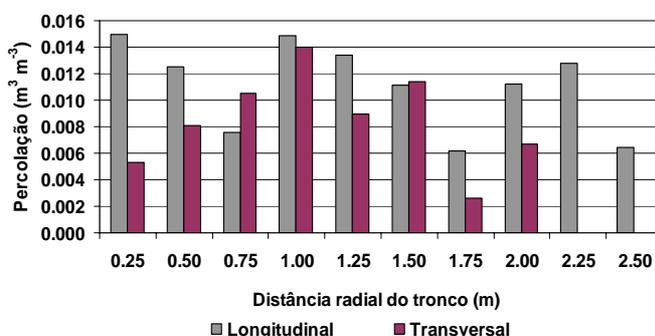
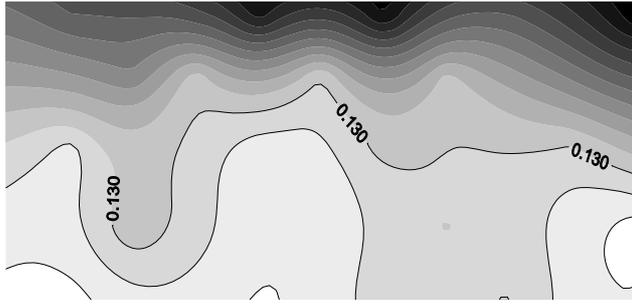


Figura 24 – Percolação diária de água no perfil do solo, longitudinal e transversal à fileira de plantas, no tratamento T2.

As distribuições dos teores de água nos perfis longitudinal e transversal, do tratamento T3, uma hora após a irrigação e antes da próxima, estão apresentadas nas Figuras 25 e 26, respectivamente. No perfil longitudinal (Figura 25) à fileira de plantas, nota-se que os maiores teores de umidade do solo se localizaram na região de 0 a 0,8 m de profundidade e às distâncias horizontais da planta de 0,25 a 0,75 m e 1,4 a 2,2 m. Essa distribuição apresenta grande relação com a distribuição de água do microaspersor, conforme comentado anteriormente, e o fato de a água aspergida ter atingido a folhagem da planta, favorecendo o aumento da umidade nesses locais. Verifica-se no perfil antes da próxima irrigação (Figura 25b) que, nessa área, os valores de teor de água diminuíram significativamente, o que deve ter ocorrido devido à extração de água pelo sistema radicular da planta, uma vez que o teor de água evaporada para esse tratamento, seguindo comentários realizados de Allen et al. (1998), possivelmente seja menor que para os demais, sendo que o microaspersor lançou menor quantidade de água para fora da área sombreada.

No perfil do solo transversal à fileira de plantas (Figura 26), os maiores teores de umidade do solo se localizavam de 0 a 0,6 m e 1,2 a 1,7 m de distância horizontal da planta e à profundidade de 0 a 0,6 m, uma hora após a irrigação. Antes da próxima irrigação, a umidade maior é observada na distância horizontal da planta entre 0 a 0,4 m e 0,7 a 1,3 m, em profundidades entre 0 e 0,40 m.

A Figura 27 mostra as isolinhas da disponibilidade total de água nos perfis longitudinal e transversal à fileira de plantas no tratamento T3, uma hora após a irrigação. No perfil longitudinal e transversal, observa-se que, de 0 a 2,5 e 0 a 2,0 m de distância da planta, respectivamente, e até 0,6 m de profundidade, a disponibilidade total de água no solo foi igual ou superior a 70%. Essa distribuição está também relacionada com a afirmação de Pizarro (1990) de que, no caso de fruteiras irrigadas sob sistema de microaspersão, as características naturais do emissor e a sua localização em relação à planta influenciam o perfil de teores de água disponível e alteram também sua absorção.



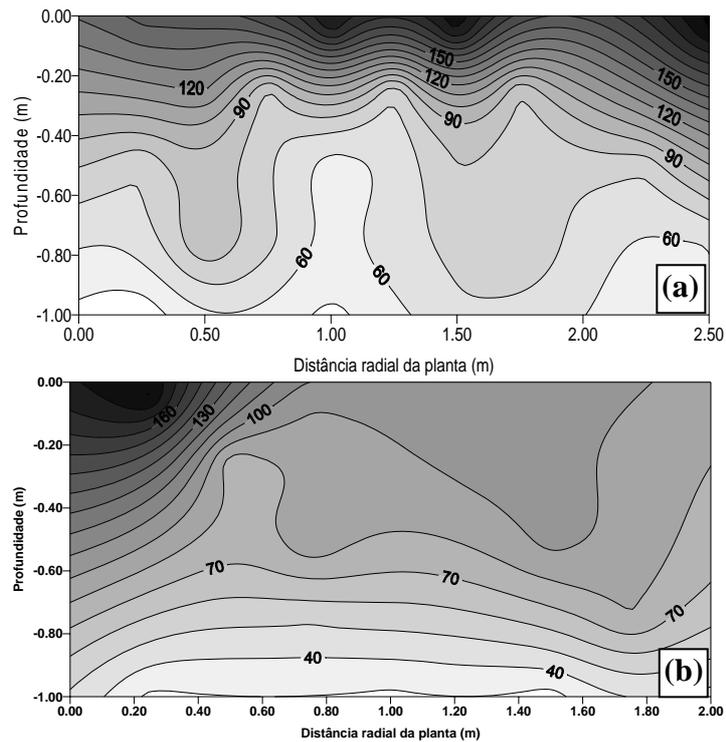
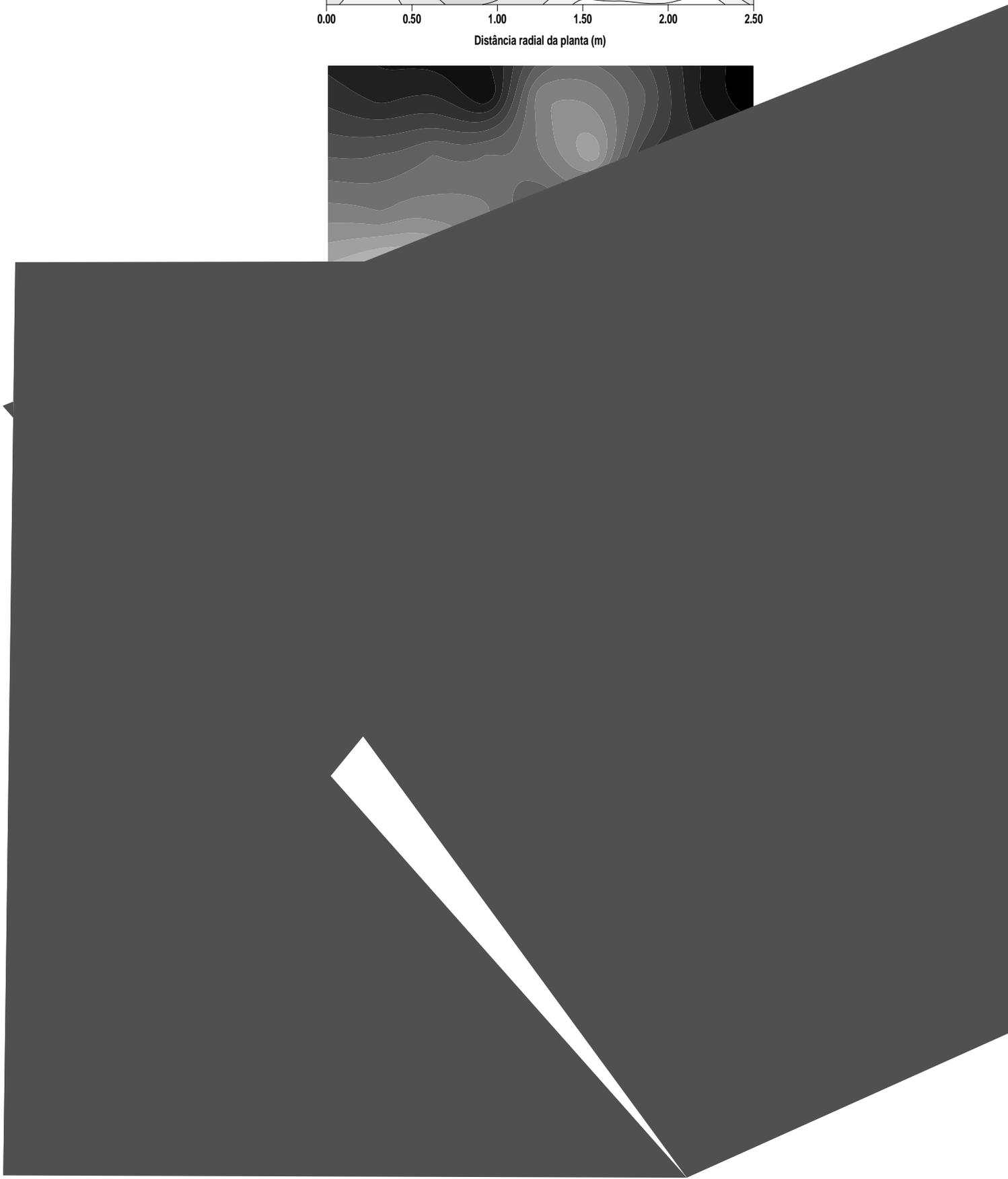
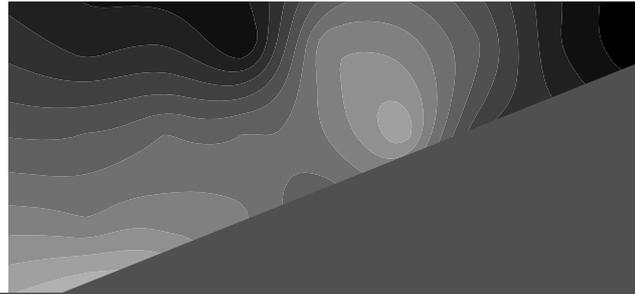
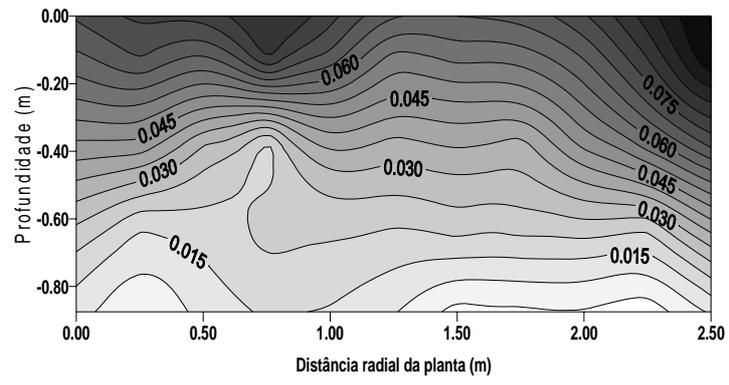


Figura 27 – Isolinhas da porcentagem de água disponível no perfil do solo longitudinal à fileira de plantas (a) e transversal à fileira de plantas (b) uma hora após a irrigação, no tratamento T3, sem cobertura plástica sobre o solo.

A partir das determinações diárias do teor de água no perfil do solo, com a área útil da planta coberta de plástico, geraram-se os perfis de extração de água longitudinal (Figura 28a) e transversal à fileira de plantas (Figura 28b), onde se observa que a extração da água do solo no perfil longitudinal à fileira de plantas abrangeu de 0 a 2,5 m de distância da planta com os maiores valores até 0,6 m de profundidade. No perfil completo, observam-se alguns picos ocorridos na profundidade de 0 a 0,2 m e distâncias da planta de 0,75 m e 2,5 m. No perfil transversal à fileira de plantas, os teores de extração de água mais acentuados foram até 0,6 m de profundidade nas distâncias da planta de 1,4 a 2,0 m e até 0,4 m de profundidade de 0 a 0,8 m. Essa maior extração nesses locais está relacionada à maior disponibilidade hídrica e de concentração de raízes nesses locais (Figura 27).



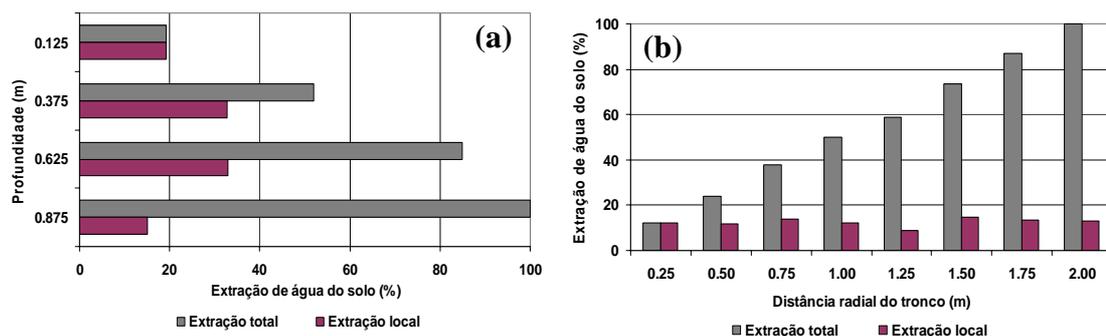


Figura 30 – Extração total e local de água no perfil transversal à fileira de plantas, no tratamento T3, nas profundidades do perfil do solo (a) e distâncias radiais em relação à planta (b).

Por meio da integração horária da percolação ao longo do dia, observa-se, na Figura 31, que o volume percolado foi pequeno, tanto na linha quanto na entrelinha, sendo que os maiores picos ocorreram próximo à planta (0,25 m) e entre 1,25 e 2,0 m da planta para o perfil longitudinal e transversal à planta. No geral, esses valores foram um pouco superiores aos do tratamento T1 e pouco inferiores aos do tratamento T2, confirmando a pequena diferença na distribuição de água entre os tratamentos.

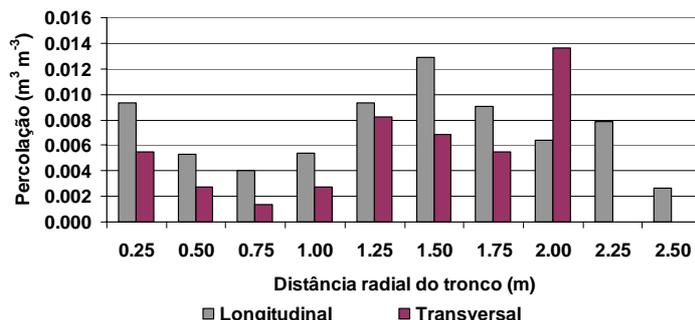


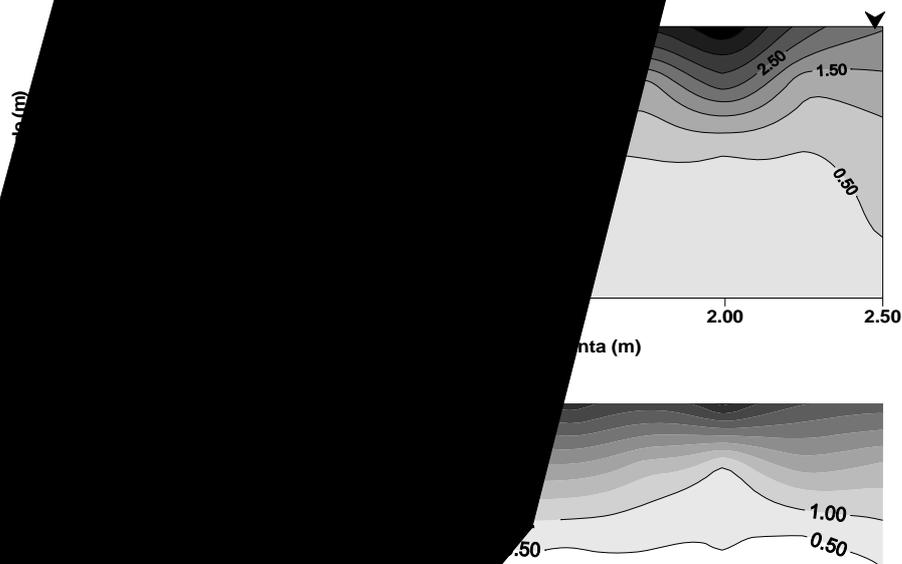
Figura 31 – Percolação diária de água no perfil do solo, longitudinal e transversal à fileira de plantas, no tratamento T3.

Comparando T1, T2 e T3, observou-se que, nos três tratamentos, até a profundidade de 0,625 m ocorreu mais de 85% da extração de água. No entanto, o tratamento T2 apresentou um padrão de distribuição de água mais uniforme, proporcionando maior disponibilidade de água no solo, principalmente no perfil transversal, seguido do T3. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram, nas camadas avaliadas, maior taxa de extração que a do tratamento T1. Essas diferenças podem estar associadas com a maior uniformidade de distribuição de água no solo do T2 e que o T1 apresentou maior umidade nas regiões expostas à radiação solar nos horários mais quentes do dia. Esses resultados são similares aos apresentados por Coelho et al. (2004), que sugeriram que as plantas cítricas apresentam 80% da extração de água até 0,60 m de

profundidade no perfil do solo e que os sensores devem ser instalados às profundidades entre 0,25 - 0,30 m e 0,50-0,60 m, para manejo da irrigação.

4.4. Distribuição de raízes

Grande parte das raízes se concentrava na camada superficial do solo, nas três disposições de microaspersores (Figura 32). Houve tendência de desenvolvimento lateral do sistema radicular, com densidade de raízes relativamente alta na camada superficial até 2 m de distância da planta. Esse fato condiz com o sistema de irrigação utilizado, com alta frequência, menor volume de água e o tipo de solo da região, arenoso e de baixa fertilidade. Essas características fazem que a absorção de água e nutrientes fique restrita às camadas mais superficiais, onde a água está sendo introduzida e a fertilidade é maior devido à presença da matéria orgânica. Conforme Santos et al. (2005), sob microaspersão a densidade do sistema radicular do limoeiro diminui à medida que se afasta do microaspersor e do tronco da planta, e isso pôde ser visualizado no T1, em que a localização do microaspersor influenciou bastante a distribuição da densidade do sistema radicular, que teve maior densidade a uma distância maior da planta, na região abaixo do emissor (Figura 32a). Em todos os tratamentos, a maior densidade de comprimento de raízes e a maior profundidade do sistema radicular encontram-se próximas ao microaspersor. No T3 (Figura 32c), as raízes também se concentram próximas ao tronco, local onde está o emissor. Nesse tratamento ocorreram maiores densidades de comprimento de raízes em profundidades relativamente maiores que nas outras disposições. Como discutido anteriormente, o microaspersor localizado abaixo da copa da planta reduz a parcela de água exposta à radiação solar e favorece a maior penetração da água, o que condiciona o desenvolvimento do sistema radicular à maior profundidade, como observado.



densidade de comprimento de raízes (cm cm^{-3}) de limão em direção longitudinal da planta, nos tratamentos T1 (a), T2 (b) e T3 (c) com diferentes microaspersores (▼) instalados.

O resultado está de acordo com o que foi sugerido por Taiz e Zieger (2004). Os autores relataram que, quando as camadas superficiais do solo estão pouco úmidas, há redução no desenvolvimento de raízes superficiais e ocorre aumento na formação de raízes profundas, devido à maior disponibilidade de água em camadas subsuperficiais, o que pode ter ocorrido no tratamento T3, no qual o microaspersor instalado próximo ao tronco proporcionou maior percolação da água. Ressalta-se que o crescimento de raízes nas camadas mais profundas em direção ao solo úmido pode ser considerado uma linha de defesa da planta contra a seca. Segundo Godmann et al. (1989), esse comportamento reflete a necessidade das plantas de explorar melhor a

umidade e a fertilidade do solo e depende também das características morfológicas e genotípicas da planta.

A profundidade efetiva do sistema radicular da lima ácida ‘Tahiti’, equivalente a 80% do comprimento total de raízes, conforme sugerido por Santos (2002), Vieira et al. (1999) e Kanber et al. (1996), foi similar nos três tratamentos, sendo inferior a 0,625 m de profundidade, com 89,47% no T1, 89,82% no T2 e 88,34% no T3 e a 2,0 m de distância da planta (Figura 33). Esses resultados são similares aos apresentados por Montenegro (1960), segundo o qual 90% das raízes atingiram até 0,60 m de profundidade em árvores de 10 anos. No entanto, foi superior ao observado por Moreira (1988), que, estudando o sistema radicular em plantas adultas, constatou que 60% das raízes se encontravam a 0,30 m de profundidade e 73% das raízes até 0,60 m, e o verificado por Santos et al. (2005): de 85% do total em 0,25 m para a lima ácida ‘Tahiti’, avaliando diferentes intervalos de irrigação por microaspersão. A profundidade efetiva do sistema radicular pode ter sido influenciada tanto pelo sistema de irrigação quanto pelo tipo de solo, que apresenta baixa capacidade de retenção de água. A máxima porcentagem de comprimento local de raiz ocorreu nas camadas de 0 – 0,125 m e 0,125 – 0,375 m de profundidade, de forma similar em todos os tratamentos, com uma pequena superioridade do tratamento T3 na camada de 0 – 0,125 m. A porcentagem de comprimento de raízes a diferentes distâncias da planta foi bastante uniforme, ocorrendo somente pequenas oscilações (Figura 33).

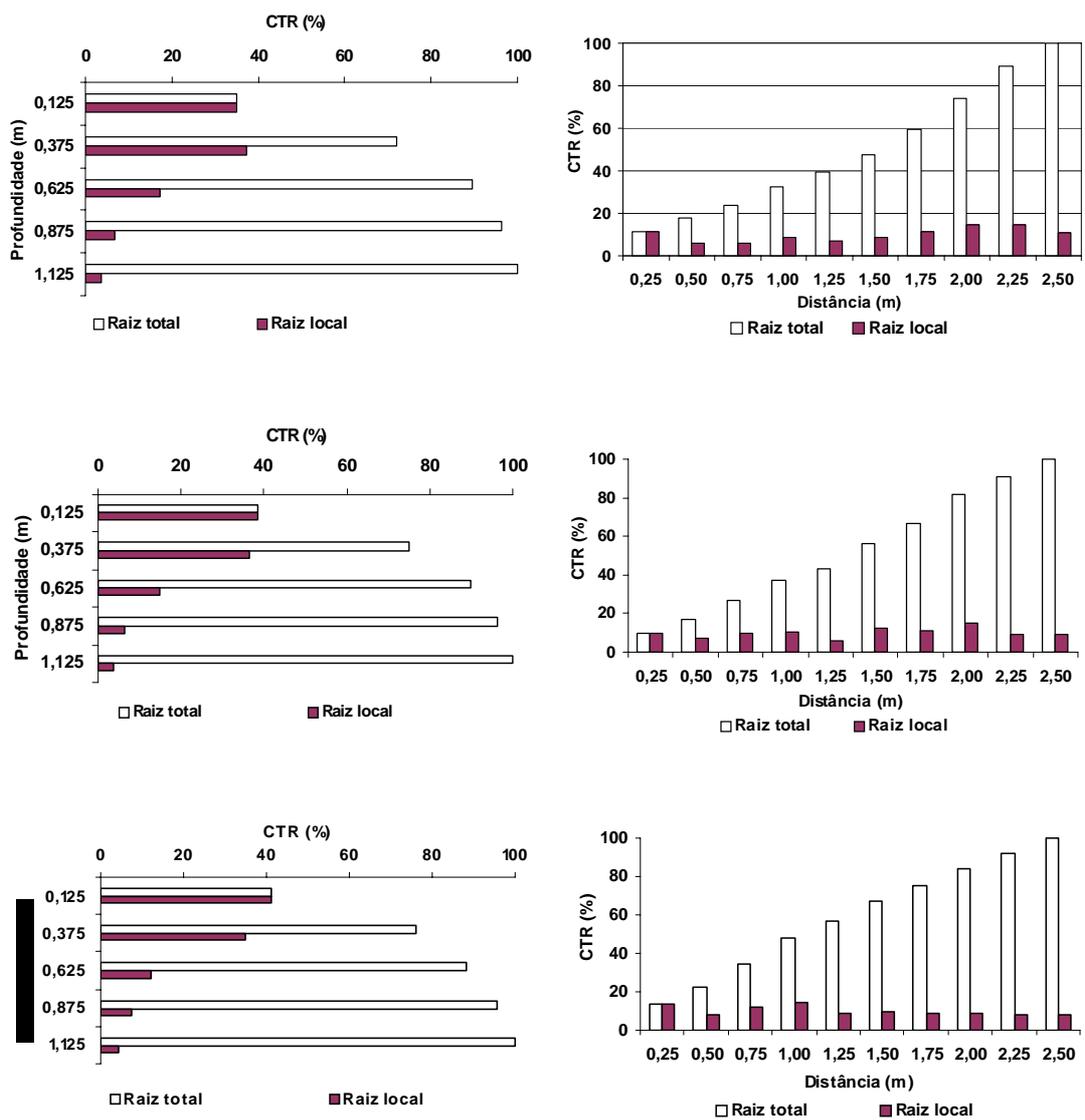


Figura 33 – Porcentagem do comprimento total das raízes (CTR) em diferentes profundidades (a) e distâncias da planta (b), nos tratamentos T1 (1), T2 (2) e T3 (3).

Avaliando a porcentagem de raízes em relação às classes de diâmetro (Tabelas 5 e 6) no tratamento T1, verificou-se que as raízes muito finas representavam 14,77% do total de raízes, e as maiores porcentagens estavam localizadas nas primeiras profundidades, com 4,41% na de 0,375 - 0,625 m. Nas distâncias de 0 – 0,25 e 2,25 – 2,5 m da planta, observaram-se 4,78 e 2,55% de raízes, respectivamente, sendo esta última região corresponde à área localizada abaixo do emissor. As raízes de diâmetro 0,05 – 0,2 cm constituíram a maioria das raízes coletadas, perfazendo 81,15% do total e sendo mais evidente na camada de 0,125 – 0,375 m de profundidade (30,54%) e a 2,25 m de distância da planta (14,81%). As raízes entre 0,2 - 0,5 cm de diâmetro representaram 3,6% do total, apresentando maiores concentrações na profundidade de

0,375 - 0,625 m e nas distâncias de 1,0 e 2,5 m da planta. As raízes de maior diâmetro (> 0,5 cm) representaram apenas 0,48% do total, tendo maior incidência na profundidade de 0,125 - 0,375 m e distância de 0,5 m da planta. Nesse contexto, observou-se que as raízes com diâmetro inferior ou igual a 0,2 cm foram encontradas em maior quantidade e localizadas, principalmente, nas camadas mais superficiais. À medida que o diâmetro aumenta, torna-se maior sua distribuição na profundidade alcançada pelas raízes, evidenciando a sua função de sustentação da planta.

Raízes com diâmetro menor que 0,05 cm representam 12,94% do total encontrado no tratamento T2 (Tabelas 5 e 6), estando as maiores porcentagens dessa classe de raízes localizadas na profundidade de 0,375 - 0,625 m (7,83%) e na distância de 1,50 m (4,21%) da planta. Raízes de diâmetro de 0,05 - 0,2 cm foram encontradas em maior concentração, representando 83,42% do total, sendo mais evidente na camada de 0 - 0,125 m (31,46%) e a 1,5 m de distância da planta (10,53%). As raízes com 0,2 - 0,5 cm de diâmetro representaram 3,15% do total, apresentando maior incidência na camada de 0,875 - 1,125 m e na distância de 0,25 m da planta. As raízes com diâmetro maior que 0,5 cm representaram apenas 0,53% do total, tendo maior incidência na profundidade de 0,125 - 0,375 m e na distância de 1,25 m da planta.

No tratamento T3 (Tabelas 5 e 6), as raízes muito finas (< 0,05 cm) representaram 14,70 % do total, estando a maior porcentagem de raízes localizada na camada de 0,375 - 0,625 m de profundidade (4,23%) e distribuídas, de forma homogênea, no perfil horizontal até 2,5 m de distância da planta com 1,88%, à distância de 0,5 m. As raízes de diâmetro de 0,05 - 0,2 cm representam 81,32 % do total, sendo a maioria das raízes também neste tratamento e tendo maior incidência na camada de 0 - 0,125 m de profundidade e a 0,75 m de distância da planta. As raízes com 0,2 - 0,5 cm representaram 3,49% do total, apresentando maiores concentrações na camada de 0,375 - 0,625 m de profundidade (1,09%) e na distância de 0,5 m da planta (0,59%). As raízes com diâmetro maior que 0,5 cm representaram apenas 0,48% do total, tendo maior incidência na profundidade de 0,125 - 0,375 m (0,13%) e distância de 0,5 m da planta (0,08%).

Tabela 5 – Porcentagem do comprimento total das raízes (CTR), nas quatro classes de diâmetro (< 0,5; 0,5 - 2,0; 2,0 - 5,0; e > 5,0 mm), em diferentes profundidades, nos tratamentos T1, T2 e T3

Trat	Prof (m)	Diâmetro (mm)			
		< 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 5,0	> 5,0
T1	0 – 0,125	4,03	25,56	0,14	0,04
	0,125 – 0,375	3,95	30,54	0,61	0,26
	0,375 – 0,625	4,41	14,09	1,20	0,03
	0,625 – 0,875	2,06	7,63	0,93	0,06
	0,875 – 1,125	0,32	3,32	0,72	0,09
	Total	14,77	81,15	3,60	0,48
T2	0 – 0,125	0,16	31,46	0,66	0,01
	0,125 – 0,375	1,16	27,38	0,70	0,34
	0,375 – 0,625	7,83	12,86	0,27	0,03
	0,625 – 0,875	1,92	7,94	0,66	0,08
	0,875 – 1,125	1,86	3,78	0,86	0,08
	Total	12,94	83,42	3,15	0,53
T3	0 – 0,125	1,57	35,75	0,41	0,01
	0,125 – 0,375	3,47	25,27	1,06	0,13
	0,375 – 0,625	4,23	9,73	1,09	0,12
	0,625 – 0,875	3,69	6,01	0,60	0,12
	0,875 – 1,125	1,74	4,55	0,33	0,10
	Total	14,70	81,32	3,49	0,48

Tabela 6 – Porcentagem do comprimento total das raízes (CTR), nas quatro classes de diâmetro (< 0,5; 0,5 - 2,0; 2,0 - 5,0; e > 5,0 mm), em diferentes distâncias radiais da planta, nos tratamentos T1, T2 e T3

Trat	Distância (m)	Diâmetro (mm)			
		< 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 5,0	> 5,0
T1	0,25	4,78	8,16	0,28	0,10
	0,50	1,89	5,55	0,30	0,13
	0,75	2,29	3,62	0,54	0,03
	1,00	0,37	7,06	0,65	0,03
	1,25	0,08	7,21	0,38	0,06
	1,50	0,09	8,35	0,15	0,03
	1,75	0,10	8,85	0,26	0,01
	2,00	0,57	12,25	0,10	0,01
	2,25	2,06	14,81	0,25	0,03
	2,50	2,55	5,28	0,70	0,05
		Total	14,77	81,15	3,60
T2	0,25	1,28	9,23	0,65	0,01
	0,50	1,13	6,17	0,51	0,01
	0,75	1,79	5,00	0,22	0,05
	1,00	0,35	9,77	0,54	0,11
	1,25	1,22	6,31	0,12	0,13
	1,50	4,21	10,53	0,09	0,05
	1,75	1,08	8,79	0,17	0,12
	2,00	0,35	10,08	0,44	0,01
	2,25	0,60	8,39	0,23	0,01
	2,50	0,93	9,16	0,18	0,01
		Total	12,94	83,42	3,15
T3	0,25	1,80	10,00	0,63	0,05
	0,50	2,20	7,80	0,67	0,10
	0,75	0,77	9,04	0,40	0,09
	1,00	1,90	7,59	0,30	0,05
	1,25	0,73	7,33	0,22	0,01
	1,50	1,41	7,71	0,21	0,01
	1,75	1,60	7,87	0,25	0,05
	2,00	1,28	8,50	0,45	0,08
	2,25	1,95	7,78	0,18	0,03
	2,50	1,07	7,70	0,18	0,01
		Total	14,70	81,32	3,49

Observou-se que a classe de raízes com diâmetro entre 0,05-0,2, nos três tratamentos, foram maiores que 81%, com as maiores distribuições nas profundidades de 0 - 0,625 m. Houve tendência de maior densidade de comprimento e maior redistribuição do sistema radicular nos tratamentos T3 e T2, ao longo do perfil, o que possivelmente esteja relacionado à distribuição de água nesses tratamentos.

4.5. Fluxo de Seiva

Devido ao grande porte das plantas avaliadas, com área foliar de 184,62 m², 182,85 m² e 185,12 m², nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, e à falta de disponibilidade de sensores que permitissem monitorar simultaneamente as três plantas, o monitoramento foi feito de forma alternada e seqüencial durante três dias em cada planta. Dessa forma, uma comparação direta dos valores de fluxo de seiva (FS) por área foliar (AF) determinados em dias distintos não é indicada. Assim, o FS/AF foi avaliado de maneira indireta por meio de dois índices: fluxo de seiva por unidade de radiação solar (RS), conforme relatado por Marin et al. (2001) e fluxo de seiva por unidade de evapotranspiração de referência (ET_o), calculada pelo método de Penman-Monteith, a partir de dados horários, coletados na estação meteorológica.

Observa-se, na fase de floração (Figura 34), que o fluxo de seiva da planta acompanha a demanda da ET_o, ao longo dos três dias avaliados, o que demonstra a relação direta das respostas estomáticas a fatores ambientais, como radiação solar, temperatura, vento, água disponível no solo e umidade do ar. As pequenas variações no método de fluxo de seiva em relação à ET_o estão, segundo Coelho Filho (2002), associadas às respostas dos mecanismos estomáticos às variações atmosféricas ocorridas no período, pois as resistências internas ao fluxo de água não permitem que o fluxo de seiva responda rapidamente à variação da demanda atmosférica. As respostas dinâmicas irão depender da capacitância hídrica do tronco acima do sensor e da capacitância calorífica do tronco.

Os três tratamentos avaliados apresentam, nas horas que antecedem o amanhecer do dia, um fluxo de seiva com valor reduzido ou completamente nulo, corroborando Rojas (2003), o que indica que as plantas não se encontravam sob estresse hídrico, conforme condições descritas por Angelocci (2002). No amanhecer do dia, observa-se, em todos os tratamentos, que a curva tem progressão vertical muito rápida, ocorrendo um "pico", que aparentemente se destaca do padrão de variação esperado no período. Nos gráficos apresentados por Rojas (2003) e Silva et al. (2000), também é observado esse comportamento. Os quadrantes, cujos ramos apresentaram maiores valores nos picos do fluxo de seiva, foram leste e norte.

As estimativas de fluxo de seiva apresentaram-se coerentes nos tratamentos ao longo dos três dias avaliados. No entanto, observou-se pequena diferença entre os tratamentos quanto ao horário de redução do fluxo de seiva durante o dia. No T2, verificou-se que, em média, a redução do fluxo de seiva ocorre após o horário de maior

demanda do dia, pico da ETo, com redução durante o período da tarde (Figura 34). Nos tratamentos T3 e T, observou-se que a redução do fluxo de seiva começa um pouco antes, o que pode estar ocorrendo devido à menor disponibilidade hídrica nesses tratamentos, que ocasiona um fechamento antecipado dos estômatos e conseqüente redução na transpiração da planta.

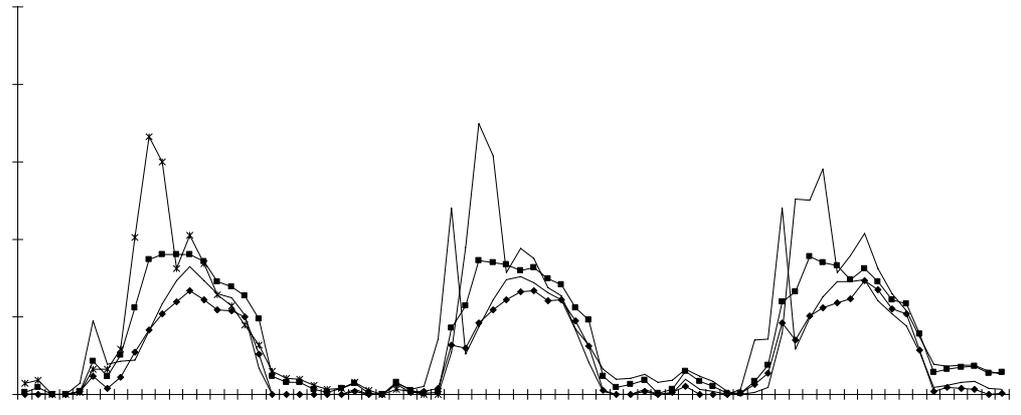
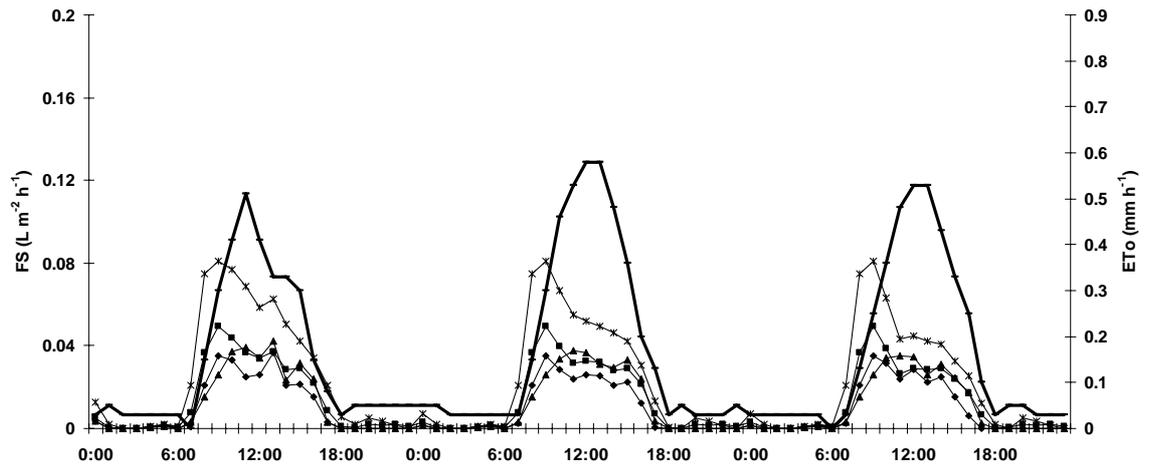
No período noturno existe pequeno fluxo de seiva para alguns ramos das plantas, com maior intensidade no T3 e T2 (Figura 34). Segundo Angelocci (2002), esse comportamento pode ser atribuído à condição de deficiência hídrica, na qual a planta tenta suprir o *deficit* acumulado durante o período diurno. A reposição noturna pode ocorrer em função de vários fatores, dentre eles a época do ano, disponibilidade hídrica do solo e dimensão da árvore. Rojas (2003) afirmou que é a fase da dinâmica hídrica na qual a planta se recupera da perda diurna de água, em conseqüência da maior transpiração em relação à absorção nesse período.

Quanto à comparação da amplitude diária das curvas do fluxo de seiva com a da ETo, observou-se que a do fluxo é um pouco maior, em todos os tratamentos, especialmente ao amanhecer. Esses resultados diferem dos apresentados por Marin et al. (2001) e Coelho Filho (2002), o que pode estar relacionado às diferenças no tamanho e idade das culturas e das características climáticas das regiões onde foram realizados os testes, que podem modificar as respostas fisiológicas da planta à ETo (Figura 34).

Além da estimativa das áreas foliares, segundo Coelho Filho et al. (2003), foram realizadas medidas dos diâmetros dos quatro ramos utilizados em cada uma das plantas avaliadas (Tabela 7). A variação nos valores de diâmetro e de área foliar em cada ramo ocorreu em razão do fato de eles terem sido escolhidos de acordo com as características de cada sensor.

Tabela 7 – Diâmetro (D) e área foliar (AF) dos ramos onde foram instalados os sensores de fluxo de seiva, na fase de floração

Quadrante	T1		T2		T3	
	AF (m ²)	D (cm)	AF (m ²)	D (cm)	AF (m ²)	D (cm)
Norte	1,09	1,69	0,86	1,56	1,22	1,82
Sul	1,07	1,74	0,80	1,66	1,08	2,11
Leste	1,14	1,92	1,49	2,04	0,80	1,65
Oeste	1,1	1,58	1,56	1,61	1,36	1,62



um pouco baixos quando comparados com os resultados de pesquisa com limão feita por Coelho Filho (2002), Marin et al. (2002) e Rojas (2003), que obtiveram valores variando de 1,00 a 1,83 L m⁻² de folha dia⁻¹ com plantas jovens ou com área foliar abaixo da avaliada neste estudo, que foi de 182,85 - 185,12 m² de folha. Dessa forma, tal fato se justifica tanto pela idade quanto pela diferença na área foliar das plantas avaliadas, estrando, em plantas mais jovens, a maior transpiração relacionada com o metabolismo mais ativo nessa fase, além de outros fatores, como os citados por Syvertsen (1982): menor regulação da perda de água, comparativamente a folhas adultas, pois carecem da rigidez estrutural e não possuem tanta cera cuticular quanto em folhas maduras. Com relação ao tamanho das plantas, segundo Rojas (2003) o aumento da área foliar pode interferir no saldo de radiação da copa, no sentido de diminuir o saldo médio por unidade de área foliar devido ao adensamento e auto-sombreamento no interior da copa, sendo comum em valores altos de área foliar, acima de 150 m². Esse aspecto indica que, além da regulação estomática da perda de água das folhas, o auto-sombreamento causado pela grande área foliar limita a captação de energia radiante pelas plantas e, por conseguinte, reduz a taxa de transpiração daquelas de maior porte. Coelho Filho (2002) citou, além dessas variáveis, a geometria de plantio, espaçamento da cultura e porta-enxerto.

Observa-se, na Tabela 8, que houve tendência de crescimento do fluxo de seiva com o aumento da radiação. No entanto, em condições de elevada disponibilidade energética, acima de 16 MJ m⁻²dia⁻¹, o fluxo de seiva apresentou algumas reduções. Esse acontecimento também foi observado por Marin et al. (2001).

Comparando o fluxo de seiva entre os quadrantes da mesma planta, observou-se, na Tabela 8, que existem diferenças entre eles e, na maioria dos casos, os ramos do quadrante leste apresentam os maiores valores de fluxo de seiva por metro quadrado de folha por dia, seguido do norte e, por último, do oeste e sul. Esse fato evidencia as influências ambientais sobre a fisiologia da planta.

Avaliando os tratamentos, tanto por meio dos valores médios de FS/RS quanto pelos valores médios de FS/ETo, observou-se que o tratamento T2 apresentou maiores valores, seguido do T3 e do T1. No caso de FS/RS, os valores foram em média 0,0369; 0,0289; e 0,0203 e, em FS/ETo, 0,1597; 0,1188; e 0,0907, respectivamente, em T2, T3 e T1. Isso indica que as plantas do tratamento T2 estão transpirando mais que as do T3 e do T1, em relação à quantidade de radiação incidente, em MJ m⁻² dia. Dessa forma, o metabolismo das plantas do T2 apresentou-se mais ativo e indica condição hídrica no

solo um pouco melhor nesse tratamento, em comparação aos outros. Considerando-se que a quantidade de água oferecida nos três tratamentos foi a mesma, o tratamento T2 resultou em um sistema com maior aproveitamento da água pelas plantas.

Essa diferença entre os tratamentos também pode ser visualizada avaliando-se o fluxo de seiva por planta, apenas nos dias com ETo similares (4,27; 4,21, e 4,25 mm dia⁻¹). Observou-se o mesmo comportamento na análise feita pelos índices propostos (FS/ETo e FS/RS), em que, da mesma forma, a transpiração da planta no T2 é maior (114,12 L dia⁻¹), seguido do T3 (110,10 L dia⁻¹) e, por último, do T1 (70,42 L dia⁻¹). Isso é um indicativo de que esses índices podem ser utilizados quando o acompanhamento do fluxo de seiva em diferentes plantas não puder ser realizado de forma simultânea.

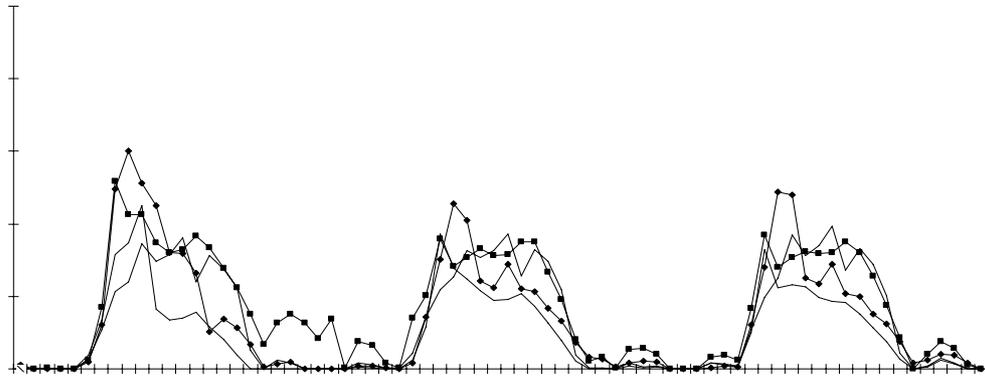
Quanto à avaliação dos quadrantes, o comportamento também foi similar nos dois índices avaliados. Considerando-se todos os tratamentos, os valores médios do FS/RS em relação aos quadrantes foram maiores no quadrante leste (0,03833), seguido do norte (0,03278), do oeste (0,0224) e, por último, do sul (0,02122). Quanto à avaliação dos valores médios do FS/ETo, observou-se também melhor desempenho no quadrante leste (0,1644), seguido do norte (0,1402), do oeste (0,0991) e, por último, do sul (0,0907). Esse resultado evidencia que as condições externas, especialmente a radiação solar, podem estar interferindo no fluxo de seiva das plantas e que essas condições podem ser diferentes nos vários quadrantes da planta, em razão do seu posicionamento em relação aos pontos cardeais. E isso pode causar diferença na produtividade e qualidade dos frutos nos diferentes quadrantes.

David et al. (1997), comparando o método de fluxo de seiva em cultura de eucalipto com a evapotranspiração pelo método de Pennan-Monteith, observaram tendência similar de variação entre o fluxo de seiva e a evapotranspiração sob boas condições hídricas do solo. À medida que o solo secava, a evapotranspiração de referência passava a ser proporcionalmente superior ao fluxo de seiva, com conseqüente redução na transpiração da cultura.

Tabela 8 – Fluxo de seiva por planta (FSp), fluxo de seiva no ramo (FS), evapotranspiração de referência (ETo), radiação solar (RS) e relação entre fluxo de seiva e esses fatores, na fase de floração da planta de lima ácida ‘Tahiti’

Trat.	Eto	RS	Posição do ramo	FS	Relação		FSp
	mm dia ⁻¹	MJ m ⁻² dia ⁻¹		L m ⁻² dia ⁻¹	FS/RS	FS/Eto	L dia ⁻¹
T1	3,48	14,97	NORTE	0,350	0,0235	0,1006	76,39
			SUL	0,245	0,0164	0,0704	
			LESTE	0,627	0,0419	0,1802	
			OESTE	0,284	0,0190	0,0816	
			média	0,377	0,0252	0,1083	
	4,27	19,01	NORTE	0,328	0,0172	0,0768	70,42
			SUL	0,221	0,0116	0,0518	
			LESTE	0,556	0,0292	0,1302	
			OESTE	0,275	0,0145	0,0644	
			média	0,345	0,0181	0,0808	
	3,82	17,95	NORTE	0,307	0,0171	0,0804	65,95
			SUL	0,215	0,0120	0,0563	
LESTE			0,506	0,0282	0,1325		
OESTE			0,252	0,0140	0,0660		
média			0,320	0,0178	0,0838		
T2	4,32	18,94	NORTE	0,684	0,0361	0,1583	110,75
			SUL	0,417	0,0220	0,0965	
			LESTE	0,808	0,0427	0,1870	
			OESTE	0,514	0,0271	0,1190	
			média	0,606	0,0320	0,1403	
	4,21	18,79	NORTE	0,658	0,0350	0,1563	114,12
			SUL	0,462	0,0246	0,1097	
			LESTE	0,799	0,0425	0,1898	
			OESTE	0,577	0,0307	0,1370	
			média	0,624	0,0332	0,1482	
	3,6	15,20	NORTE	0,738	0,0485	0,2050	125,38
			SUL	0,501	0,0330	0,1392	
LESTE			0,874	0,0575	0,2428		
OESTE			0,630	0,0414	0,1750		
média			0,686	0,0451	0,1906		
T3	4,25	17,39	NORTE	0,712	0,0409	0,1675	110,10
			SUL	0,389	0,0224	0,0915	
			LESTE	0,762	0,0438	0,1793	
			OESTE	0,473	0,0272	0,1113	
			média	0,584	0,0336	0,1374	
	4,58	19,08	NORTE	0,625	0,0328	0,1365	99,01
			SUL	0,341	0,0179	0,0744	
			LESTE	0,711	0,0373	0,1552	
			OESTE	0,415	0,0217	0,0906	
			média	0,523	0,0274	0,1142	
	4,86	19,85	NORTE	0,552	0,0278	0,1136	97,43
			SUL	0,314	0,0158	0,0646	
LESTE			0,734	0,0370	0,1510		
OESTE			0,436	0,0220	0,0897		
média			0,509	0,0256	0,1047		

A variação diária do fluxo de seiva (FS) da lima ácida ‘Tahiti’ em relação à curva de evapotranspiração de referência (ET_o) determinada pelo modelo de Penman Monteith, durante o período de frutificação, seguiu comportamento similar ao apresentado no período de floração da planta, conforme pode ser visualizado na Figura 35.



De maneira geral, nos períodos de floração e de frutificação o fluxo de seiva nos tratamentos avaliados foi similar. Entretanto, na fase de frutificação os valores médios de fluxo de seiva foram maiores, variando de 0,42 a 1,30 L m⁻² de folha dia⁻¹ (Tabela 9), o que já era esperado, devido ao aumento da atividade metabólica associada ao processo de crescimento dos frutos e ao aumento da evapotranspiração de referência, que variou de 5,82 a 6,82 mm dia⁻¹.

Entre os tratamentos, da mesma forma que durante a floração, o T2 apresentou maiores valores de FS/RS (0,0388) e FS/ETo (0,1622), seguido do T3, com FS/RS (0,0352) e FS/ETo (0,1446); e do T1, com FS/RS (0,0244) e FS/ETo (0,098). Também, o fluxo de seiva, em dias com ETo similares (6,17; 6,23; e 6,19;) foi maior no tratamento T2 (177,25 L dia⁻¹), seguido do T3 (171,52 L dia⁻¹) e T1 (107,66 L dia⁻¹).

Quanto à avaliação dos quadrantes, de maneira geral os quadrantes leste e norte também apresentaram maiores índices de fluxo de seiva, com exceção do tratamento T2, em que o quadrante sul também se destacou dos outros (Tabela 9).

Tabela 9 – Fluxo de seiva por planta (FSp), fluxo de seiva no ramo (FS), evapotranspiração de referência (ETo), radiação solar (RS) e relação entre fluxo de seiva e esses fatores, na fase de frutificação da planta de lima ácida ‘Tahiti’

Trat.	ETo	RS	Posição	FS	Relação		FSp
	mm dia ⁻¹	MJ m ⁻² dia ⁻¹	do ramo	L m ⁻² dia ⁻¹	FS/RS	FS/ETo	L dia ⁻¹
T1	6,5	25,63	NORTE	0,923	0,0360	0,1420	123,98
			SUL	0,866	0,0338	0,1332	
			LESTE	0,610	0,0238	0,0938	
			OESTE	0,422	0,0165	0,0649	
			média	0,705	0,0275	0,1085	
	6,82	26,17	NORTE	0,771	0,0295	0,1130	112,69
			SUL	0,603	0,0230	0,0884	
			LESTE	0,638	0,0244	0,0935	
			OESTE	0,453	0,0173	0,0664	
			média	0,616	0,0235	0,0904	
	6,19	26,41	NORTE	0,710	0,0269	0,1147	107,66
			SUL	0,583	0,0221	0,0941	
			LESTE	0,639	0,0242	0,1032	
			OESTE	0,424	0,0160	0,0684	
			média	0,589	0,0223	0,0951	
			NORTE	1,030	0,0415	0,1670	ref281.64
			SUL	1,193	0,0481	0,1934	
			LESTE	0,951	0,0383	0,1541	
			OESTE	0,705	0,0284	0,114378	

516.

Com a finalidade de verificar outros possíveis efeitos dos tratamentos nas plantas, que também estão relacionados com o seu fluxo de seiva, foram realizadas análises do potencial hídrico foliar, transpiração, condutância estomática e temperatura foliar, durante períodos diários em diferentes fases da cultura.

4.6. Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf})

Os dados de Ψ_{wf} diário, determinados ao final do período de estresse hídrico, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Esse resultado possivelmente ocorreu devido ao longo período de estresse hídrico a que as plantas foram submetidas (30 dias) e ao fato de o período de estresse ter sido iniciado após a ocorrência de uma chuva, o que não inviabilizou a prática com o intuito de florescimento das plantas, mas possivelmente igualou o conteúdo de água no solo nos tratamentos. Dessa forma, o Ψ_{wf} nesse período é apresentado com uma curva média nos três tratamentos (Figura 36a).

O valor mínimo de Ψ_{wf} , encontrado sob as condições experimentais deste estudo, durante o período de estresse hídrico, foi de -2,3 MPa, ocorrido às 11 h da manhã. Apesar de esse valor ter sido maior que o indicado por Southwick e Davenport (1987) para o florescimento dessa cultura (-3,5 MPa), observou-se florada intensa da lima ácida ‘Tahiti’. Essa diferença pode estar relacionada com as diferentes condições ambientais a que foram submetidos os experimentos, pois esta pesquisa foi desenvolvida no campo, e o trabalho dos pesquisadores supracitados foi realizado sob condições de ambiente controlado. Dessa forma, a indução floral realizada neste trabalho seguiu as recomendações de Medina (2003), que sugeriu, para a indução de um florescimento satisfatório, um estresse hídrico de intensidade e duração suficiente para conduzir a visível perda de hidratação das folhas (perda de turgescência ou murcha), sem que haja desfolha excessiva e prejudicial à planta.

Analisando-se as conformações das curvas diárias de Ψ_{wf} , nas fases de floração e frutificação (Figuras 36bc), os três tratamentos apresentaram comportamento similar ao amanhecer e no final da tarde e pequena variação durante o período das 8 às 12 h, em que o tratamento T2 exibiu maiores valores de Ψ_{wf} .

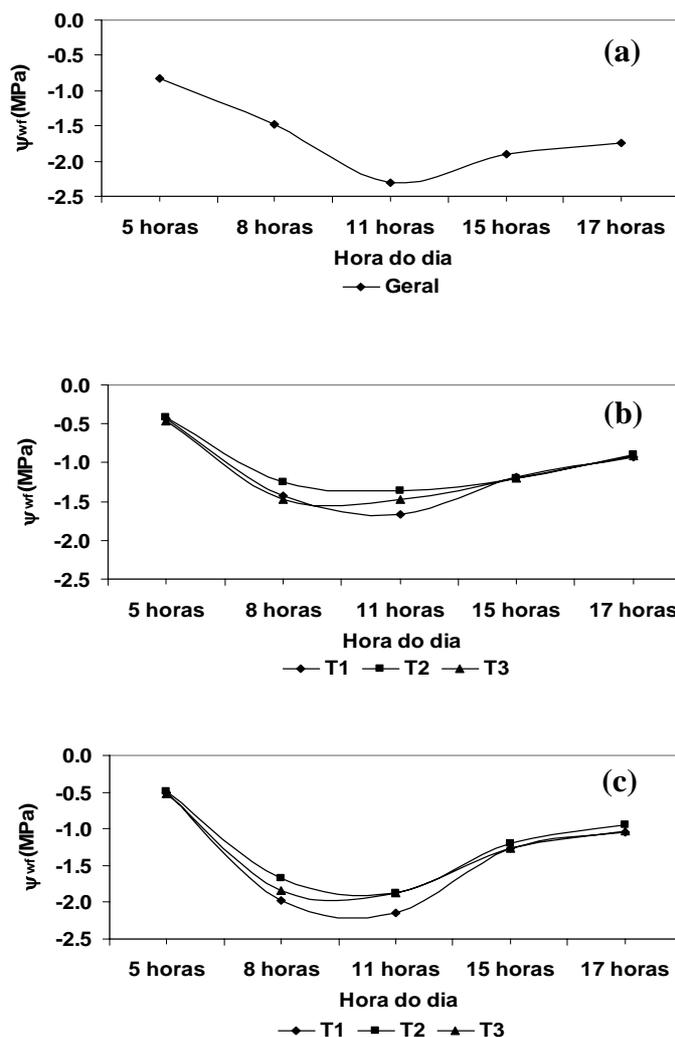


Figura 36 – Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) da lima ácida ‘Tahiti’ ao longo do dia, determinado no final do período de estresse hídrico (a), nas fases de floração (b) e de frutificação (c), nos tratamentos T1, T2 e T3.

Na Tabela 10, encontra-se o resumo da análise de variância da variável Ψ_{wf} , nos períodos de floração e frutificação. Verifica-se, nessa tabela, que houve efeito ($P < 0,05$) em todas as fontes de variação, à exceção da interação Hora x Tratamento, no período de floração. Apesar do efeito não-significativo dessa interação, decidiu-se considerá-la como positiva na análise dos dados.

Tabela 10 – Análise de variância do potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) da lima ácida ‘Tahiti’, nas fases de floração e frutificação, nos tratamentos T1, T2 e T3

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Ψ_{wf} (Floração) (MPa)	Ψ_{wf} (Frutificação) (MPa)
Bloco	2	0,9500	0,3500
Tratamento	2	4,3167*	7,8167*
Resíduo(a)	4	0,4167	0,3667
Hora	4	161,7722*	326,0333*
Hora*Tratamento	8	1,7681 ^{NS}	2,1708*
Resíduo(b)	24	1,0111	0,9583
CV (%) parcela		5,94	4,62
CV (%) subparcela		9,25	7,47

^{NS} Não-significativo e * Significativo a 5%.

As médias dos potenciais hídricos foliares das plantas dos três tratamentos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, não apresentaram diferença significativa nos horários de 5, 14 e 17 horas do dia, tanto no período de floração quanto no de frutificação. No entanto, observou-se que, no horário de 8 horas, houve diferença significativa no nível de 5%, em que a planta do tratamento T2 apresentou maior Ψ_{wf} que as demais, e, no horário de 11 horas, as plantas dos tratamentos T2 e T3 exibiram maior Ψ_{wf} que as do T1 (Tabela 11).

Os menores valores de Ψ_{wf} , no período de floração, ocorreram por volta das 11 horas, quando o T1 apresentou menor valor (-1,67 MPa), seguido do T3 (-1,47 MPa) e do T2 (-1,37 MPa), e no período de frutificação o T1 exibiu menor valor (-2,15 MPa), seguido do T3 (-1,88 MPa) e do T2 (-1,87 MPa) (Tabela 11). Esses resultados estão de acordo com o apresentado por Ehrlér et al. (1978), segundo os quais o decréscimo do Ψ_{wf} geralmente ocorre no horário de maior demanda evaporativa (próximo às 12 horas) e pode estar associado à defasagem entre a taxa transpiratória e a taxa de absorção de água pelas raízes ou, ainda, relacionado com a falta temporária de água no solo (CARLSON et al., 1979). Os maiores valores de Ψ_{wf} ocorreram amanhecendo o dia (5 h), quando o T2 apresentou maior valor (-0,42 MPa), seguido do T1 (-0,43 MPa) e do T3 (-0,47 MPa), no período de floração; também, no período de frutificação o T2 exibiu maior valor (-0,48 MPa), seguido do T1 (-0,50 MPa) e do T3 (-0,52 MPa) (Tabela 11). Pequena variação nas curvas diárias do Ψ_{wf} , nas diferentes fases, foi observada por Silva (2005), também trabalhando com lima ácida ‘Tahiti’. Esse autor relatou que essa pequena variação possivelmente esteja relacionada com mudanças que ocorrem

naturalmente no clima, sobretudo relacionadas com o *deficit* de saturação do vapor do ar.

A diferença significativa de Ψ_{wf} entre os tratamentos durante os horários de 8 e 11 h (Tabela 11) pode estar relacionada com a diferença de umidade no solo. Segundo Taiz e Zieger (2004), quando o solo seca sua resistência ao fluxo de água aumenta bruscamente. Como o tipo do solo da área experimental é arenoso, esse aumento da resistência ao movimento da água torna-se bem maior quando o solo não está saturado, podendo influenciar bastante o *deficit* hídrico da planta. No entanto, as diferenças não-significativas nos horários da tarde e ao amanhecer o dia indicam que o *deficit* não é muito severo.

Tabela 11 – Variação dos potenciais hídricos foliares (MPa) da lima ácida ‘Tahiti’, em função de diferentes horários do dia, nas fases de floração e frutificação, nos tratamentos T1, T2 e T3

Hora	Tratamento	Floração	Frutificação
5	T1	-0,433 A	-0,500 A
5	T2	-0,417 A	-0,483 A
5	T3	-0,467 A	-0,517 A
8	T1	-1,433 B	-1,983 B
8	T2	-1,250 A	-1,667 A
8	T3	-1,467 B	-1,833 B
11	T1	-1,667 B	-2,150 B
11	T2	-1,367 A	-1,867 A
11	T3	-1,467 A	-1,883 A
14	T1	-1,183 A	-1,267 A
14	T2	-1,200 A	-1,200 A
14	T3	-1,200 A	-1,267 A
17	T1	-0,933 A	-1,050 A
17	T2	-0,900 A	-0,950 A
17	T3	-0,917 A	-1,033 A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 12 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para o Ψ_{wf} da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3, nas fases de floração e frutificação. Verifica-se, tanto para a floração quanto para a frutificação, efeito significativo do tempo no PHF de todos os tratamentos.

Tabela 12 – Equações de regressão ajustadas para o potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3, nas fases de floração e frutificação

Período	Trat.	Equações de Regressão	R ²
Floração	1	$\hat{Y} = 40,9967 - 13,4553^* H + 0,9892^* H^2 - 0,0219^* H^3$	0,99
	2	$\hat{Y} = 15,2210 - 5,0333^{**} H + 0,2133^{**} H^2$	0,97
	3	$\hat{Y} = 16,2790 - 5,5576^* H + 0,2412^* H^2$	0,91
Frutificação	1	$\hat{Y} = 51,8361 - 17,1811^* H + 1,3196^* H^2 - 0,0308^* H^3$	0,99
	2	$\hat{Y} = 64,0989 - 21,3308^* H + 1,7189^* H^2 - 0,0423^* H^3$	0,99
	3	$\hat{Y} = 72,9529 - 24,1021^* H + 1,9371^* H^2 - 0,0475^* H^3$	0,99

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

H: hora do dia.

4.7. Temperatura foliar

Na Tabela 13, observam-se os resumos das análises de variância da temperatura média foliar diária da lima ácida ‘Tahiti’, nos períodos de floração e frutificação, submetida a três tipos de disposição de microaspersores, T1, T2 e T3, e avaliada nos quatro quadrantes da planta: norte, sul, leste e oeste. Verifica-se, nessa tabela, que houve efeito ($p < 0,05$) em todas as fontes. Isso demonstra a relação direta entre a temperatura foliar e o estado hídrico da planta. Conforme Maggioletto (1996), além da radiação solar, a temperatura foliar está associada a outros parâmetros, como baixo conteúdo de água no solo, ou, simplesmente, à defasagem entre a absorção de água em relação à transpiração da cultura.

Tabela 13 – Análise de variância da temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’, em diferentes horários do dia, nas fases de floração e frutificação, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Temp.Foliar (floração) (°C)	Temp.Foliar (frutificação) (°C)
Bloco	2	0,0019	0,6917
Tratamento	2	2,0797*	60,5953*
Resíduo (a)	4	0,0560	0,0562
Quadrante	3	1,7476*	0,7016*
Tratamento x Quadrante	6	1,2338*	0,7363*
Resíduo (b)	18	0,3080	0,1125
Hora	3	140,0449*	839,9782*
Tratamento x Hora	6	0,7547*	5,0427*
Quadrante x Hora	9	3,1172*	2,3926*
Tratamento x Quadrante x Hora	18	0,8387*	1,4690*
Resíduo (c)	72	0,1571	0,2266
CV (%) parcela		0,73	0,70
CV (%) subparcela		1,71	0,99
CV (%) subsubparcela		1,22	1,40

* Significativo a 5%.

As curvas diárias de temperatura foliar dos tratamentos variavam em cada quadrante da planta, tanto na floração quanto na frutificação (Figura 37). Comparando os tratamentos, observou-se que a temperatura foliar, no mesmo horário, variou até 2,4 °C, e o tratamento T2, na maioria das vezes, apresentou temperatura foliar menor durante todo ou parte dos dias avaliados, sobretudo no período de frutificação (Figura 38). O aumento da temperatura foliar pode ser um forte indicativo de *deficit* hídrico no solo, uma vez que este sinaliza o fechamento dos estômatos, sendo, assim, uma tentativa da planta em evitar maiores perdas de água por transpiração (CAIRO, 1995; STEPPUHN, 2001).

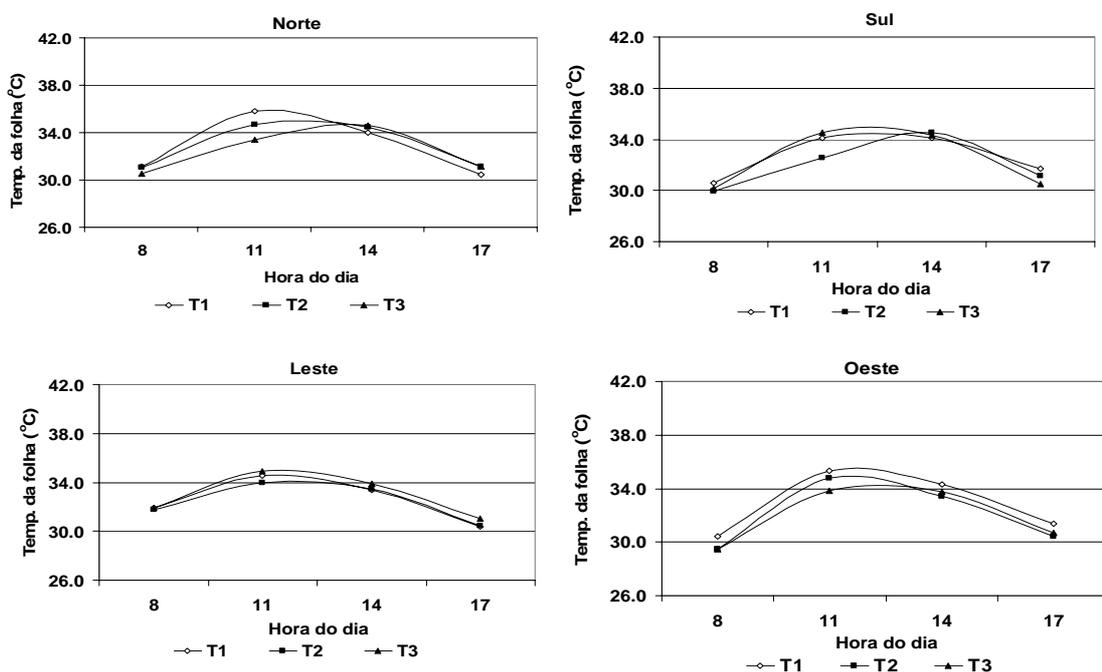


Figura 37 – Temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’, ao longo do dia, na fase de floração, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3.

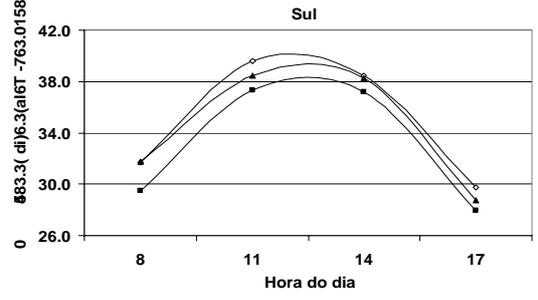
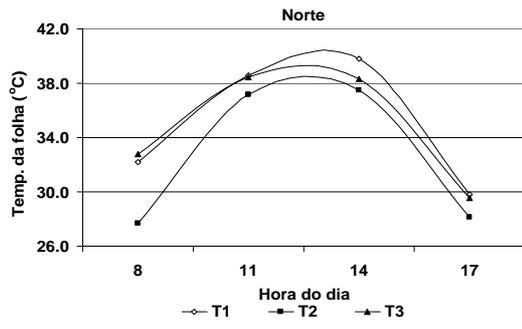


Tabela 14 – Temperatura foliar média da lima ácida ‘Tahiti’, em diferentes horas do dia, na fase de floração, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Hora	Tratamento	Oeste	Norte	Sul	Leste
8	T1	30,4 Ba	31,2 ABa	30,6 Ba	31,9 Aa
8	T2	29,5 Bb	31,0 Aa	29,9 Ba	31,8 Aa
8	T3	29,5 Cb	30,6 Ba	30,2 BCa	32,0 Aa
11	T1	35,3 ABa	35,8 Aa	34,1 Ca	34,6 BCab
11	T2	34,8 Aa	34,7 Ab	32,6 Bb	34,0 Ab
11	T3	33,8 BCb	33,4 Cc	34,5 ABa	34,9 Aa
14	T1	34,3 Aa	34,0 Aa	34,1 Aa	33,4 Aa
14	T2	33,4 Bb	34,5 Aa	34,5 Aa	33,4 Ba
14	T3	33,7 Aab	34,6 Aa	34,3 Aa	33,9 Aa
17	T1	31,4 Aa	30,4 Ba	31,7 Aa	30,4 Ba
17	T2	30,4 Ab	31,2 Aa	31,1 Aab	30,5 Aa
17	T3	30,7 Aab	31,2 Aa	30,5 Ab	31,0 Aa

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 15 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para a temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de floração. Verificou-se efeito quadrático do tempo na temperatura foliar de todos os tratamentos e quadrantes.

Tabela 15 – Equações de regressão ajustadas para a temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de floração

Tratamento	Quadrante	Equação	R ²
1	Oeste	$\hat{Y} = -0,3870 + 5,5251^{**} H - 0,2185^{**} H^2$	0,94
1	Norte	$\hat{Y} = 1,4662 + 5,5688^{**} H - 0,2282^{**} H^2$	0,93
1	Sul	$\hat{Y} = 7,2958 + 4,2413^{**} H - 0,4601^{**} H^2$	0,99
1	Leste	$\hat{Y} = -12,2375 + 3,7297^{**} H - 0,1569^{**} H^2$	0,98
2	Oeste	$\hat{Y} = -1,9634 + 5,8006^{**} H - 0,2272^{**} H^2$	0,93
2	Norte	$\hat{Y} = -4,7120 + 4,8435^{**} H - 0,1935^{**} H^2$	0,99
2	Sul	$\hat{Y} = 5,4773 + 4,3643^{**} H - 0,1671^{**} H^2$	0,90
2	Leste	$\hat{Y} = 13,5176 + 3,4357^{**} H - 0,1435^{**} H^2$	0,99
3	Oeste	$\hat{Y} = 0,6476 + 5,2500^{**} H - 0,2050^{**} H^2$	0,99
3	Norte	$\hat{Y} = 5,8504 + 4,4650^{**} H - 0,1745^{**} H^2$	0,95
3	Sul	$\hat{Y} = -0,7171 + 5,6682^{**} H - 0,2254^{**} H^2$	0,99
3	Leste	$\hat{Y} = 11,0801 + 3,9143^{**} H - 0,1615^{**} H^2$	0,97

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

Na Tabela 16 estão resumidas as médias de temperatura em função do tempo, em cada tratamento e quadrante da planta, na época de frutificação. Observa-se, nessa tabela, que a diferença entre os tratamentos foi maior do que a ocorrida durante a fase de floração, entretanto a relação entre os tratamentos foi similar, com o tratamento T2 apresentando menores temperaturas foliares. Durante o período de frutificação, a planta utiliza parte da água absorvida também para a manutenção da atividade metabólica dos

frutos, exibindo, com maior clareza, condições hídricas estabelecidas às plantas. A água afeta todas as fases do desenvolvimento dos frutos, sendo a irrigação uma prática que exerce grande influência sobre o desenvolvimento e produção dos citros (ALBRIGO, 1992).

Da mesma forma que durante a floração, a variação da temperatura foliar entre os quadrantes apresentou características diferentes para cada horário avaliado. Observou-se tendência de maior oscilação da temperatura entre os quadrantes do T1 durante o horário de maior intensidade luminosa (11 e 14 h), o que deve estar associado à condição hídrica desse tratamento, indicando maior deficiência hídrica nessa condição (Tabela 16), pois, conforme sugerido por Bergonci et al. (1999), a condição hídrica do solo influencia a temperatura do dossel. Esses autores, avaliando a diferença de temperatura dossel-ar como indicador de *deficit* hídrico em milho, verificaram uma diferença de temperatura dossel-ar de até 6 °C entre o tratamento irrigado e o não-irrigado.

Durante o período de frutificação, observou-se amplitude de variação nos valores de temperatura foliar um pouco maior do que na floração, com menor valor em T2 (26,8 °C), no horário das 8 h, e maior no T1 (39,8 °C), às 14 h (Tabela 16). Tenhunen et al. (1987) mostraram que incrementos na intensidade luminosa estimulam a abertura dos estômatos até temperaturas de 25 a 30 °C. Eles também constataram que o fechamento dos estômatos comumente ocorre ao meio-dia, durante períodos de alta intensidade luminosa, com aumento da temperatura foliar na diferença de umidade entre a folha e o ar ou, ainda, com o aumento de ambos.

Tabela 16 – Média da temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de frutificação, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Hora	Tratamento	Oeste	Norte	Sul	Leste
8	T1	31,7 Aa	32,2 Aa	31,7 Aa	32,4 Aa
8	T2	26,8 Bb	27,7 Bb	29,5 Ab	29,9 Ac
8	T3	31,7 Ba	32,8 Aa	31,8 Ba	31,3 Bb
11	T1	38,9 ABa	38,6 Ba	39,6 Aa	39,8 Aa
11	T2	37,2 Ab	37,1 Ab	37,3 Ac	36,9 Ac
11	T3	37,9 Ab	38,5 Aa	38,4 Ab	38,6 Ab
14	T1	39,4 ABa	39,8 Aa	38,4 Ba	36,7 Cb
14	T2	38,1 Ab	37,5 ABb	37,2 ABb	36,7 Bb
14	T3	38,3 Ab	38,3 Ab	38,3 Aa	38,0 Aa
17	T1	30,0 Aa	29,8 Aa	29,8 Aa	29,7 Aa
17	T2	28,2 Ab	28,1 Ab	27,9 Ab	27,8 Ab
17	T3	29,8 Aa	29,6 ABa	28,8 BCb	28,1 Cb

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Segundo Taiz e Zaiger (2004), um dos efeitos da elevação da temperatura foliar está relacionado à estabilidade da membrana celular, que pode ser comprometida diante de um estresse de alta temperatura, pois a excessiva fluidez de lipídios da membrana a altas temperaturas está relacionada à perda de função, podendo modificar a composição e estrutura da membrana. A ruptura de membranas também causa inibição de processos, como a fotossíntese e a respiração, que dependem da atividade de transportadores de elétrons e enzimas associadas às membranas.

Na Tabela 17 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para a temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de frutificação. Verifica-se, nessa tabela, efeito quadrático do tempo na temperatura foliar de todos os tratamentos e quadrantes.

Tabela 17 – Equações de regressão ajustadas para a temperatura foliar da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de frutificação

Tratamento	Quadrante	Equação	R ²
1	Oeste	$\hat{Y} = -30,1009 + 11,3987^{**} H - 0,4620^{**} H^2$	0,99
1	Norte	$\hat{Y} = -28,3824 + 11,1713^{**} H - 0,4546^{**} H^2$	0,97
1	Sul	$\hat{Y} = -29,0213 + 11,2769^{**} H - 0,4601^{**} H^2$	0,99
1	Leste	$\hat{Y} = -18,5380 + 9,6046^{**} H - 0,3990^{**} H^2$	0,96
2	Oeste	$\hat{Y} = -51,0287 + 14,2209^{**} H - 0,5620^{**} H^2$	0,99
2	Norte	$\hat{Y} = -44,0852 + 13,1574^{**} H - 0,5240^{**} H^2$	0,99
2	Sul	$\hat{Y} = -33,6176 + 11,6676^{**} H - 0,4731^{**} H^2$	0,99
2	Leste	$\hat{Y} = -28,6481 + 10,8493^{**} H - 0,4425^{**} H^2$	0,99
3	Oeste	$\hat{Y} = -22,1500 + 9,9611^{**} H - 0,4055^{**} H^2$	0,99
3	Norte	$\hat{Y} = -19,2898 + 9,6975^{**} H - 0,4009^{**} H^2$	0,99
3	Sul	$\hat{Y} = -26,9880 + 10,9213^{**} H - 0,4490^{**} H^2$	0,99
3	Leste	$\hat{Y} = -31,0611 + 11,6044^{**} H - 0,4777^{**} H^2$	0,99

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

Sakai et al. (1987), estudando o efeito do *deficit* hídrico sobre o comportamento da temperatura das folhas em feijoeiro, observaram que plantas sob *deficit* hídrico apresentaram maiores valores de temperatura foliar. Isso pode estar ocorrendo nos tratamentos T1 e T3, que apresentaram maiores valores de temperatura foliar quando comparados com o T2.

4.8. Condutância Estomática

No resumo da análise de variância da condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, nos períodos de floração e frutificação, submetida a três tipos de disposição de microaspersores, T1, T2 e T3, e avaliada nos quatro quadrantes (norte, sul, leste e oeste), verificou-se efeito ($p < 0,05$) nas interações Tratamento x Quadrante x Hora, tanto no período de floração quanto no de frutificação (Tabela 18).

Tabela 18 – Análise de variância da condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de floração, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
		Cond. Estomática (floração)	Cond. Estomática (frutificação)
Bloco	2	0,0001	0,0005
Tratamento	2	0,0007*	0,0139*
Resíduo (a)	4	0,0002	0,0004
Quadrante	3	0,0004 ^{NS}	0,0008 ^{NS}
Tratamento x Quadrante	6	0,0022*	0,0004 ^{NS}
Resíduo (b)	18	0,0006	0,0007
Hora	3	0,0546*	0,0549*
Tratamento x Hora	6	0,0045*	0,0005 ^{NS}
Quadrante x Hora	9	0,0032*	0,0108*
Tratamento x Quadrante x Hora	18	0,0020*	0,0011*
Resíduo (c)	72	0,0005	0,0007
CV (%) parcela		8,13	11,56
CV (%) subparcela		15,38	14,51
CV (%) subsubparcela		13,75	14,42

^{NS} Não-significativo e * Significativo a 5%.

As curvas diárias de condutância estomática nos três tratamentos tiveram os maiores valores no período entre 11 e 14 h, tanto na floração quanto na frutificação (Figuras 39 e 40), com valores máximos em torno de 0,25 a 0,30 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De maneira geral, na maioria das condições o tratamento T2 apresentou maiores valores de condutância estomática, principalmente no período de frutificação (Figura 40). A maior condutância estomática também evidenciou melhor estado hídrico das plantas do tratamento T2, pois, conforme Taiz e Zieger (2004), a condutância estomática é afetada pelo estresse hídrico; mesmo quando este é apenas moderado, os estômatos tendem a se fechar logo nos estádios iniciais do estresse hídrico. Isso pode acarretar outras conseqüências para as plantas, a exemplo das citadas por Medina et al. (1998) e Machado et al. (1999), bem como redução na disponibilidade de substrato (CO_2) para a atividade fotossintética.

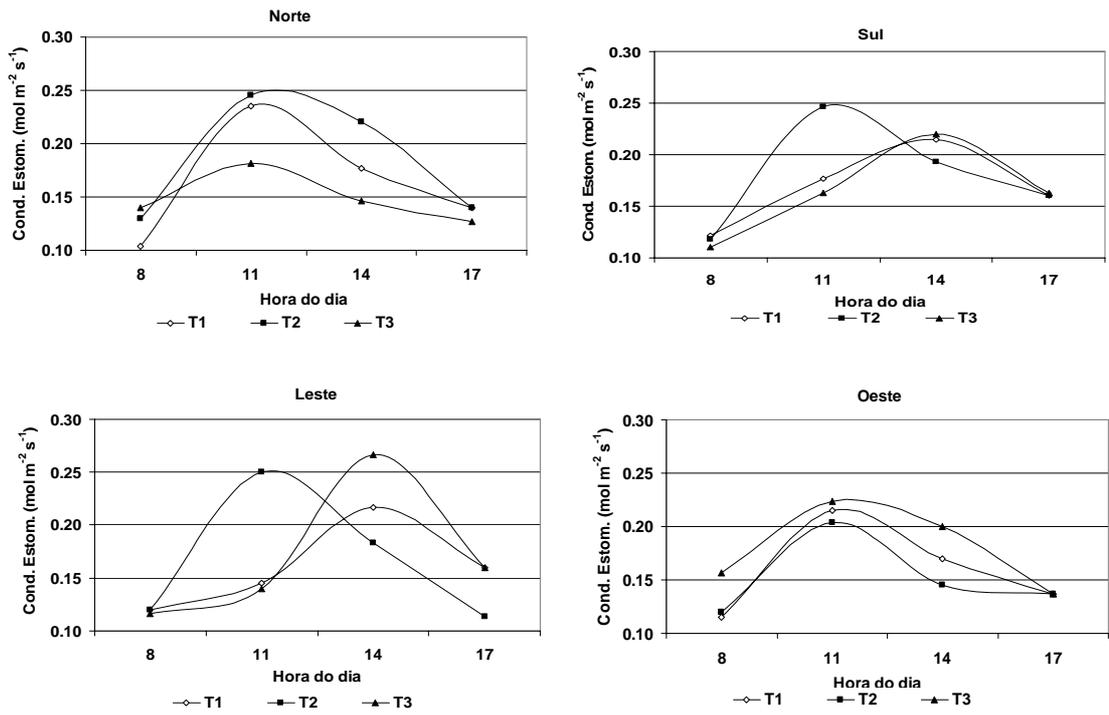


Figura 39 – Condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de floração, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste.

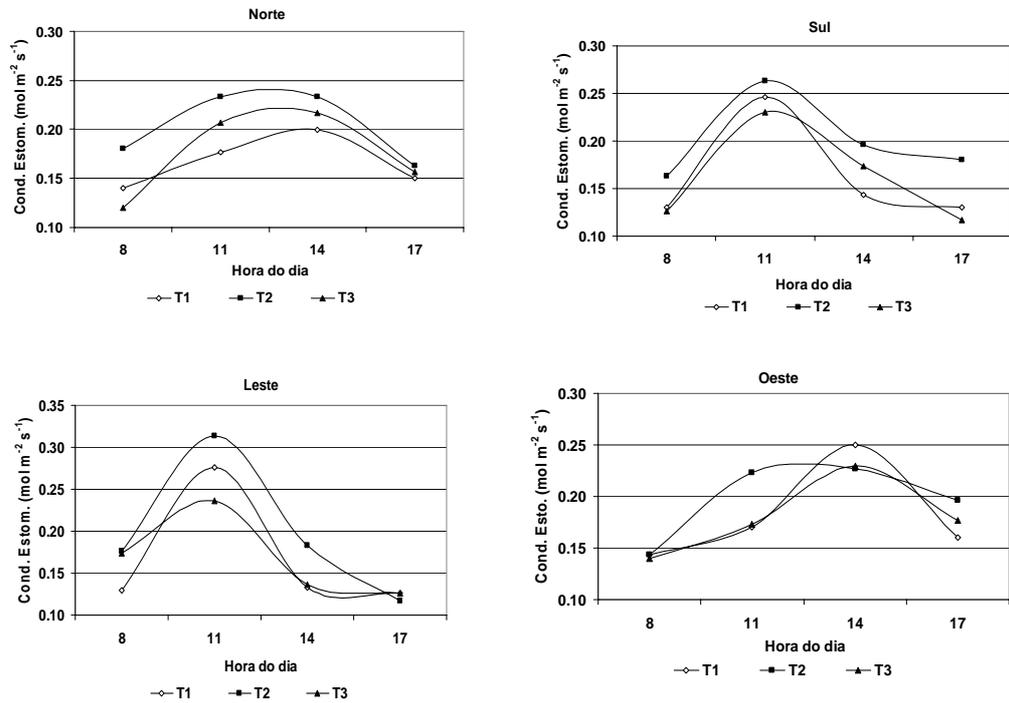


Figura 40 – Condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de frutificação, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste.

As médias de condutância estomática nas diferentes horas do dia, em cada tratamento e quadrante da planta avaliados, na época de floração foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 19). Observou-se que durante o período de floração a diferença entre os tratamentos com relação à condutância estomática ficou restrita aos horários de maior intensidade luminosa (11 e 14 h), tendo uma tendência de maior condutância estomática no tratamento T2, nos horários de 11 h e de 14 h; apesar de ter apresentado diferenças significativas entre os tratamentos, não houve tendência clara nos valores de condutância estomática com relação aos tratamentos aplicados (Tabela 19).

Avaliando a condutância estomática nos diferentes quadrantes, observou-se, da mesma forma que na temperatura foliar, maior oscilação no período de maior intensidade luminosa (11 e 14 h), e nos horários de menor radiação solar (8 e 17 h) não se verificaram diferenças significativas nos valores de condutância estomática (Tabela 19). Nas condições avaliadas neste trabalho, a amplitude dos valores de condutância estomática no período de floração foi de 0,103 a 0,250 mol m⁻² s⁻¹, sendo o menor valor referente ao tratamento T1, no horário de 8 h, e o maior ao tratamento T2, no horário de 11 h.

Tabela 19 – Média da condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de floração, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Hora	Tratamento	Oeste	Norte	Sul	Leste
8	T1	0,115 Aa	0,103 Aa	0,122 Aa	0,120 Aa
8	T2	0,120 Aa	0,130 Aa	0,118 Aa	0,120 Aa
8	T3	0,157 Aa	0,140 Aa	0,110 Aa	0,117 Aa
11	T1	0,215 ABa	0,235 Aa	0,177 BCb	0,145 Cb
11	T2	0,203 Aa	0,245 Aa	0,247 Aa	0,250 Aa
11	T3	0,223 Aa	0,182 ABb	0,163 Bb	0,140 Bb
14	T1	0,170 Aab	0,177 Aa	0,215 Aa	0,217 Aa
14	T2	0,145 Bb	0,220 Aa	0,193 ABa	0,183 ABb
14	T3	0,200 Ba	0,147 Cb	0,220 ABa	0,267 Aa
17	T1	0,137 Aa	0,140 Aa	0,160 Aa	0,160 Aa
17	T2	0,137 Aa	0,140 Aa	0,160 Aa	0,113 Ab
17	T3	0,137 Aa	0,127 Aa	0,163 Aa	0,160 Aa

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 20 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para a condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de floração. Verifica-se, nessa

tabela, efeito quadrático do tempo na condutância estomática de todos os tratamentos e quadrantes.

Tabela 20 – Equações de regressão ajustadas para a condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de floração

Tratamento	Quadrante	Equação	R ²
1	Oeste	$\hat{Y} = -0,3862 + 0,0932^{**} H - 0,0037^{**} H^2$	0,78
1	Norte	$\hat{Y} = -0,5357 + 0,1186^{**} H - 0,0046^{**} H^2$	0,76
1	Sul	$\hat{Y} = -0,3386 + 0,0815^{**} H - 0,0030^{**} H^2$	0,93
1	Leste	$\hat{Y} = -0,6022 + 0,1258^{**} H - 0,0056^{**} H^2$	0,86
2	Oeste	$\hat{Y} = -0,2144 + 0,0633^{**} H - 0,0025^{**} H^2$	0,53
2	Norte	$\hat{Y} = -0,6037 + 0,1355^{**} H - 0,0054^{**} H^2$	0,96
2	Sul	$\hat{Y} = -0,5014 + 0,1146^{**} H - 0,0044^{**} H^2$	0,76
2	Leste	$\hat{Y} = -0,6027 + 0,1360^{**} H - 0,0055^{**} H^2$	0,84
3	Oeste	$\hat{Y} = -0,3097 + 0,0875^{**} H - 0,0036^{**} H^2$	0,97
3	Norte	$\hat{Y} = -0,60683 + 0,0403^{*} H - 0,0017^{*} H^2$	0,74
3	Sul	$\hat{Y} = -0,3691 + 0,0836^{**} H - 0,0030^{**} H^2$	0,88
3	Leste	$\hat{Y} = -0,4597 + 0,0988^{**} H - 0,0036^{**} H^2$	0,57

* e** significativo e não-significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

No período de frutificação, os valores de condutância estomática foram um pouco mais elevados que durante a floração nos diferentes horários do dia, tendo a amplitude dos valores ficado restrito a $0,117 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no T2 e T3, no horário de 17 h; e de $0,313 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no T2, no horário de 11 h. Durante essa fase, a condutância estomática apresentou tendência mais clara com relação aos tratamentos que durante a fase de floração. Ressalta-se que o tratamento T2 se destacou com maiores valores de condutância estomática na maioria dos horários e quadrantes avaliados (Tabela 21).

Com relação aos quadrantes, observou-se que no horário de 8 h não houve diferença estatística nos valores de condutância estomática, e nos outros horários ocorreu variação nos valores, a qual possivelmente esteja relacionada com a incidência de radiação solar direta ou indiretamente nos diferentes horários em cada quadrante.

Tabela 21 – Média da condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de frutificação, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Hora	Tratamento	Oeste	Norte	Sul	Leste
8	T1	0,143Aa	0,140Aab	0,130Aa	0,130Aa
8	T2	0,143Aa	0,180Aa	0,163Aa	0,177Aa
8	T3	0,140Aa	0,120Ab	0,127Aa	0,173Aa
11	T1	0,170Bb	0,177Bb	0,247Aa	0,277Aab
11	T2	0,223Ba	0,233Ba	0,263ABa	0,313Aa
11	T3	0,173Bab	0,207ABab	0,230Aa	0,237Ab
14	T1	0,250Aa	0,200Aa	0,143Bb	0,133Ba
14	T2	0,227Aa	0,233Aa	0,197Aa	0,183Aa
14	T3	0,230Aa	0,217ABa	0,173BCab	0,137Ca
17	T1	0,160Aa	0,150Aa	0,130Aab	0,127Aa
17	T2	0,197Aa	0,163ABa	0,180Aa	0,117Ba
17	T3	0,177Aa	0,157ABa	0,117Bb	0,127ABa

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 22 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para a condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de frutificação. Verifica-se, nessa tabela, efeito quadrático do tempo sobre a condutância estomática de todos os tratamentos e quadrantes.

Tabela 22 – Equações de regressão ajustadas para a condutância estomática da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de frutificação

Tratamento	Quadrante	Equação	R ²
1	Oeste	$\hat{Y} = -0,3432 + 0,0853^{**} H - 0,0032^{**} H^2$	0,63
1	Norte	$\hat{Y} = -0,2046 + 0,0619^{*} H - 0,0024^{*} H^2$	0,91
1	Sul	$\hat{Y} = -0,3180 + 0,0868^{**} H - 0,0036^{**} H^2$	0,49
1	Leste	$\hat{Y} = -0,3870 + 0,1013^{**} H - 0,0042^{**} H^2$	0,43
2	Oeste	$\hat{Y} = -0,3136 + 0,0818^{**} H - 0,0030^{**} H^2$	0,97
2	Norte	$\hat{Y} = -0,2734 + 0,0839^{**} H - 0,0034^{**} H^2$	0,99
2	Sul	$\hat{Y} = -0,2621 + 0,0804^{**} H - 0,0032^{**} H^2$	0,59
2	Leste	$\hat{Y} = -0,4923 + 0,1308^{**} H - 0,0056^{**} H^2$	0,73
3	Oeste	$\hat{Y} = -0,2385 + 0,0657^{*} H - 0,0024^{*} H^2$	0,78
3	Norte	$\hat{Y} = -0,4657 + 0,1058^{**} H - 0,0040^{**} H^2$	0,99
3	Sul	$\hat{Y} = -0,4466 + 0,1082^{**} H - 0,0044^{**} H^2$	0,84
3	Leste	$\hat{Y} = -2,7037 + 0,0429^{*} H - 0,0020^{*} H^2$	0,56

* e ** Significativos a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste t.

4.9. Transpiração foliar

O resumo da análise de variância da transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, nos períodos de floração e frutificação, submetida a três tipos de disposição de microaspersores, em T1, T2 e T3, e avaliada nos quatro quadrantes (norte, sul, leste e oeste), tanto na fase de frutificação quanto na fase de floração, está apresentado na Tabela 23. Verifica-se, nessa tabela, que houve efeito ($p < 0,05$) nas interações Tratamento x Quadrante x Hora, tanto na floração quanto na frutificação.

Tabela 23 – Análise de variância da transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de floração, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
		Transpiração (floração)	Transpiração (frutificação)
Bloco	2	0,2915	0,0910
Tratamento	2	18,3640*	11,1539*
Resíduo (a)	4	0,6422	0,1887
Quadrante	3	1,9841*	0,5327 ^{NS}
Tratamento x Quadrante	6	3,5418*	1,4799*
Resíduo (b)	18	0,3543	0,8625
Hora	3	141,6570*	169,7255*
Tratamento x Hora	6	15,1889*	3,1333*
Quadrante x Hora	9	0,5215 ^{NS}	8,7588*
Tratamento x Quadrante x Hora	18	1,8879*	1,0581*
Resíduo (c)	72	0,3202	0,5810
CV (%) parcela		18,33	7,81
CV (%) subparcela		13,62	16,70
CV (%) subsubparcela		12,95	13,71

^{NS} Não-significativo e * Significativo a 5%.

Avaliando a conformação das curvas diárias de transpiração nos três tratamentos, percebeu-se que ocorre aumento progressivo na transpiração até que em determinado horário a planta começa a regular o processo de transpiração, e a taxa transpiratória começa a decrescer. Conforme descrito por diversos autores (DUBË et al., 1974; TURNER, 1974; DAVID et al., 2002), esse processo está relacionado com o fechamento estomático, que pode ser estimulado pela deficiência hídrica do solo.

De maneira geral, as curvas de transpiração obtidas neste trabalho demonstram que o tratamento T2 apresentou maior taxa de transpiração durante o dia (Figuras 41 e 42). Assim, como comentado sobre outros parâmetros avaliados, a maior transpiração das plantas do T2 também indica maior disponibilidade de água no solo para este tratamento.

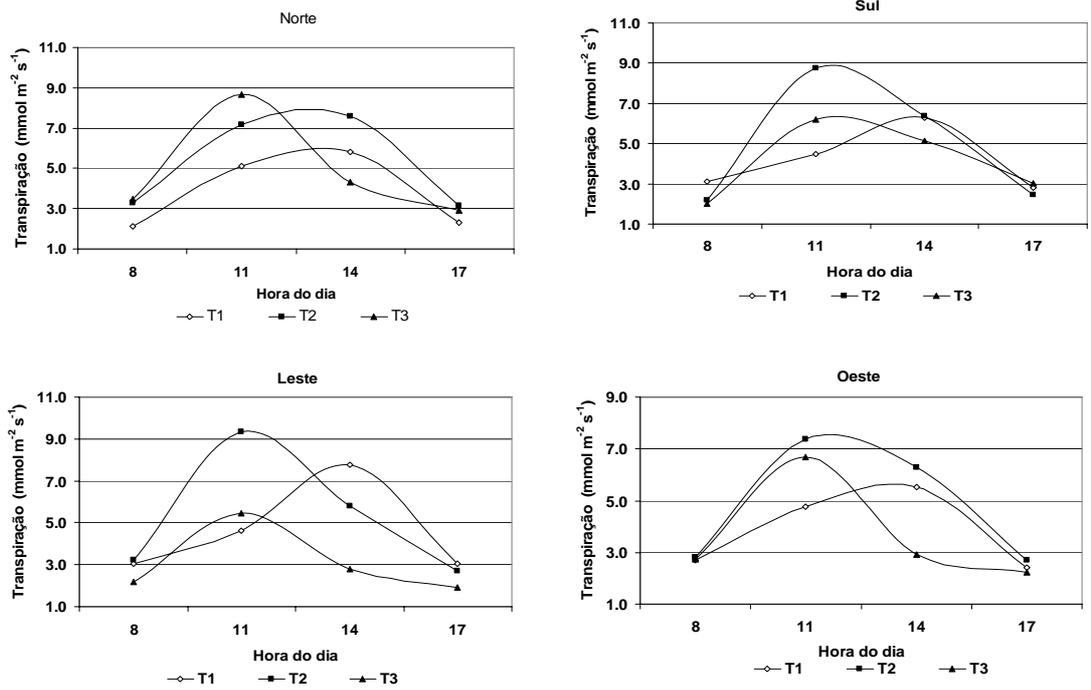
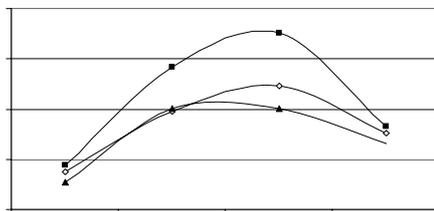


Figura 41 – Transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de floração, em função da hora do dia, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste.



As médias da transpiração da lima ácida ‘Tahiti’ na época de floração nos diferentes tratamentos e quadrantes avaliados foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 24). Observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos nos horários de menor intensidade de radiação solar (8 e 17 h), com exceção do quadrante norte do T1 no horário de 8 h. No geral, o tratamento T2 apresentou maiores taxas de transpiração, com apenas duas exceções: no quadrante norte às 11 h, em que o T3 foi maior; e no leste às 14 h, em que o T1 foi maior. Notou-se que os maiores valores de transpiração ocorreram nos horários de maior radiação solar. Entretanto, Silva et al. (1998), estudando a variação diurna da transpiração do amendoim irrigado, observaram que a máxima transpiração foi obtida por volta do meio-dia, no tratamento que recebeu maior quantidade de água e apenas às 16h30 no tratamento que recebeu menor quantidade de água. Isso evidencia que, sob alguma condição de deficiência hídrica, a abertura dos estômatos não ocorre somente em resposta à radiação solar, mas, sobretudo, em função do potencial hídrico do solo, conforme afirmaram autores como Dubě et al. (1974) e Turner (1974). A amplitude dos valores de transpiração durante o período de floração foi de 2.103 a 9.355 mmol m⁻² s⁻¹, sendo o menor valor referente ao tratamento T1 no horário de 8 h e o maior ao tratamento T2, no horário de 11 h (Tabela 24).

Tabela 24 – Média da transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de floração, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Hora	Tratamento	Oeste	Norte	Sul	Leste
8	T1	2,702 Aa	2,103 Ab	3,133 Aa	3,031 Aa
8	T2	2,793 Aa	3,291 Aa	2,191 Aa	3,222 Aa
8	T3	2,746ABa	3,486 Aa	2,033 Ba	2,173 Ba
11	T1	4,750 Ab	5,095 Ac	4,493 Ac	4,617 Ab
11	T2	7,365 Ba	7,160 Bb	8,775 Aa	9,355 Aa
11	T3	6,685 Ba	8,659 Aa	6,210 Bb	5,450 Bb
14	T1	5,515 Ba	5,820 Bb	6,292 Ba	7,760 Aa
14	T2	6,300 Ba	7,585 Aa	6,395 Aba	5,795 Bb
14	T3	2,935 Bb	4,335 Ac	5,120 Ab	2,770 Bc
17	T1	2,407 Aa	2,325 Aa	2,800 Aa	3,031 Aa
17	T2	2,692 Aa	3,135 Aa	2,465 Aa	2,693 Aa
17	T3	2,233 Aa	2,937 Aa	3,018 Aa	1,919 Aa

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 25 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para a transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e

nos quadrantes norte, sul, leste e oeste na fase de floração. Verifica-se, efeito quadrático do tempo, na transpiração de todos os tratamentos e quadrantes.

Tabela 25 – Equações de regressão ajustadas para a transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste na fase de floração

Tratamento	Quadrante	Equação	R ²
1	Oeste	$\hat{Y} = -16,8746 + 3,5766^{**} H - 0,1432^{**} H^2$	0,95
1	Norte	$\hat{Y} = -22,8749 + 4,5516^{**} H - 0,1802^{**} H^2$	0,98
1	Sul	$\hat{Y} = -15,6945 + 3,3958^{**} H - 0,13747^{**} H^2$	0,78
1	Leste	$\hat{Y} = -22,1341 + 4,4899^{**} H - 0,1754^{**} H^2$	0,70
2	Oeste	$\hat{Y} = -27,5889 + 5,6348^{**} H - 0,2272^{**} H^2$	0,97
2	Norte	$\hat{Y} = -28,1972 + 5,7757^{**} H - 0,2310^{**} H^2$	0,99
2	Sul	$\hat{Y} = -36,7434 + 7,2496^{**} H - 0,2920^{**} H^2$	0,90
2	Leste	$\hat{Y} = -29,7847 + 6,2414^{**} H - 0,2565^{**} H^2$	0,81
3	Oeste	$\hat{Y} = -12,8386 + 3,0565^{**} H - 0,1289^{**} H^2$	0,54
3	Norte	$\hat{Y} = -19,1235 + 4,3640^{**} H - 0,1825^{**} H^2$	0,61
3	Sul	$\hat{Y} = -21,9714 + 4,4225^{**} H - 0,1744^{**} H^2$	0,91
3	Leste	$\hat{Y} = -12,1153 + 2,7520^{**} H - 0,1146^{**} H^2$	0,61

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

No período de frutificação, os valores de transpiração também foram um pouco mais elevados que durante a floração, nos diferentes horários do dia. Observou-se a amplitude dos valores ficando restrita ao mínimo de 2,760 e máximo de 10,650 mmol m⁻² s⁻¹, sendo o menor valor referente ao tratamento T2, no horário de 8 horas; e o maior também no tratamento T2, no horário de 11 h. Durante essa fase de frutificação, as plantas do tratamento T2 apresentaram maior transpiração para a maioria dos horários e quadrantes avaliados (Tabela 26).

Tabela 26 – Média da transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, na fase de frutificação, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Hora	Tratamento	Oeste	Norte	Sul	Leste
8	T1	3,597 Aa	3,500 Aa	3,277 Aa	3,017 Aa
8	T2	2,760 Aa	3,783 Aa	3,853 Aa	3,997 Aa
8	T3	3,280 Aa	3,073 Aa	3,043 Aa	4,050 Aa
11	T1	5,753 Cb	5,890 BCb	7,547 ABa	7,990 Ab
11	T2	8,317 Ba	7,680 Ba	7,737 Ba	10,650 Aa
11	T3	6,327 Bb	6,033 Bb	8,527 Aa	10,073 Aa
14	T1	7,630 Aa	6,913 ABb	5,350 Bb	6,133 ABa
14	T2	7,900 ABa	9,010 Aa	8,417 ABa	7,333 Ba
14	T3	7,593 Aa	6,017 Ab	7,070 Aa	6,200 Aa
17	T1	4,900 Aa	5,040 Aa	3,627 ABa	3,050 Ba
17	T2	4,350 ABa	5,320 Aa	3,320 Ba	3,307 Ba
17	T3	3,937 ABa	4,613 Aa	3,320 ABa	2,807 Ba

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 25 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para a transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de frutificação. Verifica-se, nessa tabela, efeito quadrático do tempo na transpiração de todos os tratamentos e quadrantes.

Tabela 27 – Equações de regressão ajustadas para a transpiração da lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, na fase de frutificação

Tratamento	Quadrante	Equação	R ²
1	Oeste	$\hat{Y} = -16,6235 + 3,5864^{**} H - 0,1357^{**} H^2$	0,89
1	Norte	$\hat{Y} = -14,1873 + 3,1487^{**} H - 0,1184^{**} H^2$	0,98
1	Sul	$\hat{Y} = -18,7120 + 4,4123^{**} H - 0,1664^{**} H^2$	0,78
1	Leste	$\hat{Y} = -26,6710 + 5,5363^{**} H - 0,2237^{**} H^2$	0,91
2	Oeste	$\hat{Y} = -32,6619 + 6,4691^{**} H - 0,2529^{**} H^2$	0,98
2	Norte	$\hat{Y} = -26,5841 + 5,4665^{**} H - 0,2107^{**} H^2$	0,98
2	Sul	$\hat{Y} = -29,9544 + 6,2054^{**} H - 0,2494^{**} H^2$	0,98
2	Leste	$\hat{Y} = -34,4506 + 7,2371^{**} H - 0,2966^{**} H^2$	0,87
3	Oeste	$\hat{Y} = -23,0640 + 4,7629^{**} H - 0,1862^{**} H^2$	0,95
3	Norte	$\hat{Y} = -27,5841 + 5,5065^{**} H - 0,2207^{**} H^2$	0,96
3	Sul	$\hat{Y} = -31,4387 + 6,3911^{**} H - 0,2564^{**} H^2$	0,95
3	Leste	$\hat{Y} = -28,9777 + 6,2859^{**} H - 0,2615^{**} H^2$	0,82

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

Os resultados apresentados de fluxo de seiva, condutância estomática, temperatura de folha e transpiração podem ser considerados como indicativos de que as plantas dos diferentes tratamentos apresentaram comportamentos diferenciados para a absorção e transpiração de água, em resposta, provavelmente, às características dos teores de água no solo. Essa compensação da transpiração pelos tratamentos, em

horários um pouco distintos, pode ser a justificativa para as plantas apresentarem potenciais hídricos das folhas iguais no início e final do dia.

As avaliações discutidas até o momento indicam que as plantas do tratamento T2 se mostraram fisiologicamente superiores às dos tratamentos T3 e T1, principalmente nos momentos mais quentes do dia, o que indica melhor forma de utilização da água no solo. Segundo Jarvis (1980), a transpiração é exercida através de regulação da abertura estomática em resposta às condições ambientais (luz, temperatura, umidade do ar e déficits hídricos junto ao sistema radicular), e as alterações desses mecanismos podem trazer respostas diferenciadas à produtividade das culturas, dependendo da sua capacidade de se adaptar ao meio ambiente.

4.10. Avaliação dos parâmetros biométricos e de produtividade

Porcentagem de pegamento de frutos

O resumo da análise de variância da porcentagem de pegamento de frutos da lima ácida ‘Tahiti’, no esquema de parcelas subdivididas, demonstrou efeito não-significativo entre os tratamentos, os quadrantes e na interação Tratamento x Quadrante, conforme apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Análise de variância do pegamento de frutos da lima ácida ‘Tahiti’ nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3, na região Norte do Estado de Minas Gerais

Fonde de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	5	371,2232
Trat	2	28,1915 ^{NS}
Resíduo (a)	10	65,7791
Quad	3	122,9545 ^{NS}
Trat x Quad	6	51,1344 ^{NS}
Resíduo (b)	45	88,8160
CV (%) Parcela		58,92
CV (%) Subparcela		68,46

^{NS} Não-significativo a 5%.

Trat: Tratamento, Quad: quadrante e CV: coeficiente de variação.

Os valores médios de porcentagem de pegamento de frutos nos tratamentos 1, 2 e 3, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, ficaram dentro da faixa de 8,57 a 21,07% (Tabela 29). De maneira geral, essa faixa de valores pode ser considerada satisfatória, pois é sabido que a queda fisiológica de flores e frutos é um fenômeno comum em plantas cítricas (MOSS, 1976; MONSELISE, 1986; DAVIES; ALBRIGO, 1994; CASTRO et al., 2001) e que o número de frutos colhidos, na maioria das vezes, não ultrapassa 10% das flores formadas, normalmente valores entre 0,1% e 3,5%

(MONSELISE, 1986). Segundo Castro et al. (2001), a queda fisiológica de flores e frutos pode estar relacionada com o suprimento de água, carboidratos e outros metabólitos para os frutos. Dessa forma, é possível que o fornecimento de água através da microaspersão, conforme a necessidade da planta, tenha sido suficiente para minimizar as perdas relacionadas com esse fenômeno.

Tabela 29 – Porcentagem de pegamento de frutos da lima ácida ‘Tahiti’, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Tratamento	Oeste	Norte	Sul	Leste
1	11,75	11,96	13,15	13,81
2	11,68	15,82	10,77	21,07
3	8,57	13,40	16,89	16,31

Crescimento dos frutos

Na Tabela 30, apresenta-se o resumo da análise de variância do crescimento dos frutos da lima ácida ‘Tahiti’ dos tratamentos T1, T2 e T3, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, no esquema de parcelas subdivididas. Verifica-se que houve efeito ($P < 0,05$) dos tratamentos, quadrantes, hora e interação Quadrante x Hora. Apesar do efeito não significativo da interação Tratamento x Quadrante x Tempo, decidiu-se considerá-la como positiva na análise dos dados. Esse fato está de acordo com os comentários de Doorenbos e Kassam (1979) de que diferentes estados hídricas do solo podem alterar o padrão de crescimento dos frutos.

Tabela 30 – Análise de variância do crescimento dos frutos da lima ácida ‘Tahiti’ nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3, na região Norte do Estado de Minas Gerais

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	5	0,2014
Tratamento	2	1,4632*
Resíduo (A)	10	0,3735
Quadrante	3	0,4633*
Tratamento*Quadrante	6	0,1865 ^{ns}
Resíduo (B)	45	0,1676
Hora	3	109,8025*
Tratamento*Hora	6	0,0245 ^{ns}
Quadrante*Tempo	9	0,0785*
Tratamento*Quadrante*Hora	18	0,0344 ^{ns}
Resíduo (C)	180	0,0329
CV (%) parcela		20,51
CV (%) subparcela		13,74
CV (%) subsubparcela		6,09

* e ^{ns} Significativo a 5% de probabilidade e não-significativo, respectivamente.

Na Tabela 31, encontram-se as equações ajustadas do crescimento dos frutos, por diâmetro, em função do tempo para as respectivas combinações de tratamento e quadrantes. Observa-se, nessa tabela, que as alterações foram significativas em todas as equações geradas em cada tratamento e quadrante em função do tempo, sendo o modelo sigmoidal o de melhor ajuste aos dados.

Tabela 31 – Equações de regressão ajustadas para crescimento dos frutos de lima ácida ‘Tahiti’, em função do tempo, nos quadrantes oeste, norte, sul e leste dos tratamentos T1, T2 e T3

Trat	Quadrante	Equações de Regressão	R ²
T1	Oeste	$\hat{Y} = 5,50813 / (1 + 9,15238^{**} \text{EXP}(-0,03003^{**} \text{TEMP}))$	0,95
	Norte	$\hat{Y} = 5,33573 / (1 + 8,31013^{**} \text{EXP}(-0,02918^{**} \text{TEMP}))$	0,95
	Sul	$\hat{Y} = 5,46474 / (1 + 8,00127^{**} \text{EXP}(-0,02901^{**} \text{TEMP}))$	0,88
	Leste	$\hat{Y} = 5,08437 / (1 + 8,77230^{**} \text{EXP}(-0,03152^{**} \text{TEMP}))$	0,98
T2	Oeste	$\hat{Y} = 5,27712 / (1 + 8,00000^{**} \text{EXP}(-0,03312^{**} \text{TEMP}))$	0,90
	Norte	$\hat{Y} = 5,23543 / (1 + 9,19531^{**} \text{EXP}(-0,03298^{**} \text{TEMP}))$	0,97
	Sul	$\hat{Y} = 5,09451 / (1 + 8,00000^{**} \text{EXP}(-0,03279^{**} \text{TEMP}))$	0,96
	Leste	$\hat{Y} = 4,97937 / (1 + 8,00000^{**} \text{EXP}(-0,03537^{**} \text{TEMP}))$	0,96
T3	Oeste	$\hat{Y} = 5,48126 / (1 + 8,85333^{**} \text{EXP}(-0,03021^{**} \text{TEMP}))$	0,96
	Norte	$\hat{Y} = 4,93363 / (1 + 13,14371^{**} \text{EXP}(-0,03610^{**} \text{TEMP}))$	0,96
	Sul	$\hat{Y} = 5,05606 / (1 + 8,00000^{**} \text{EXP}(-0,02990^{**} \text{TEMP}))$	0,93
	Leste	$\hat{Y} = 4,78757 / (1 + 8,00000^{**} \text{EXP}(-0,03557^{**} \text{TEMP}))$	0,96

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

Os resultados das curvas de crescimentos dos frutos obtidos nos três tratamentos e quatro quadrantes avaliados corroboram as informações descritas (REICHARDT; TIMM, 2004) e propostas por Krajewski e Rabe (1995) de que o desenvolvimento do fruto segue uma curva sigmoidal, desde a antese até a sua maturação, caracterizada por três períodos de crescimento, como pode ser observado na Figura 43, que representa a média dos valores dos tratamentos.

As diferenças significativas observadas podem estar relacionadas com os efeitos de possíveis *deficits* hídricos, ocasionados em regiões de solo com disponibilidade de raízes, que, segundo Hsiao (1973) e Taiz e Zieger (2004), incluem a redução no desenvolvimento das células, na expansão das folhas, transpiração e redução na translocação de assimilados. Segundo Silva (1999), com a planta transpirando menos, possivelmente irá ocorrer menos troca de CO₂ com o meio ambiente e, assim, reduzir o potencial fotossintético e, conseqüentemente, diminuir a produtividade da cultura. A deficiência de água reduz também a absorção de nutrientes, que são essenciais ao desenvolvimento das plantas, reduzindo a produção de frutos.

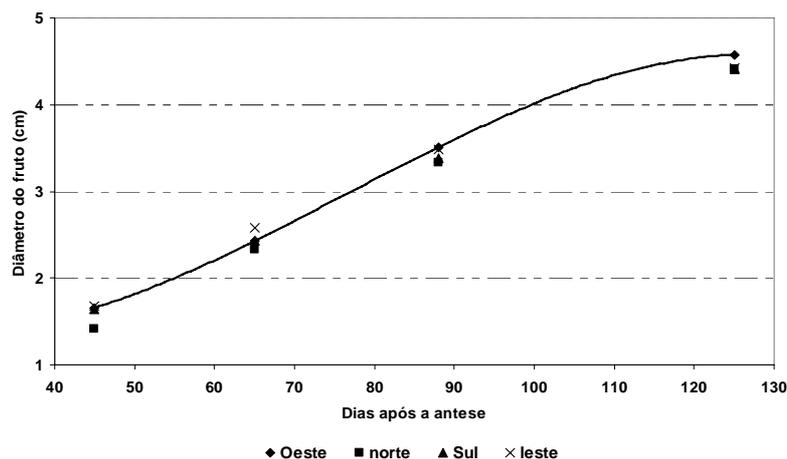


Figura 43 – Curva de crescimento médio dos frutos nos tratamentos T1, T2 e T3 e nos quadrantes oeste, norte, sul e leste.

4.11. Características físico-químicas dos frutos

O resumo da análise de variância dos valores de sólidos solúveis totais, rendimento de suco, peso médio do fruto, ácido ascórbico e ácido cítrico dos frutos da lima ácida ‘Tahiti’, no esquema de parcelas subdivididas, demonstrou efeito dos tratamentos ($P < 0,05$) apenas com relação ao teor de ácido ascórbico, enquanto os demais parâmetros avaliados foram não-significativos (Tabela 32). Quanto à avaliação dos diferentes quadrantes, observou-se efeito ($p < 0,05$) no teor de sólidos solúveis totais, no peso médio de frutos e no ácido cítrico. A interação Tratamento x Quadrante foi não-significativa em todos os parâmetros, conforme apresentado na Tabela 32.

Tabela 32 – Análise de variância das características físico-químicas dos frutos da lima ácida ‘Tahiti’ nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3, na região Norte do Estado de Minas Gerais

Fondeste de Variação	GL	Quadrado Médio				
		S.S.T	Rendimento de Suco (%)	Peso Médio do Fruto (g)	Ácido Ascórbico mg/100 g	Ácido Cítrico g/100 g
Bloco	5	0,4102	58,6581	149,0285	2,3729	0,2997
Trat	2	0,9605 ^{NS}	68,5053 ^{NS}	308,3993 ^{NS}	13,0381*	1,3765 ^{NS}
Resíduo (a)	10	0,7052	79,8804	270,0493	1,6690	0,5982
Quad	3	1,4474*	24,5000 ^{NS}	3391,1793*	2,0472 ^{NS}	0,8258*
Trat x Quad	6	0,1035 ^{NS}	51,7979 ^{NS}	55,7974 ^{NS}	0,4282 ^{NS}	0,2616 ^{NS}
Resíduo (b)	45	0,0919	52,8101	90,5664	1,6517	0,2406
CV (%) Parcela		9,57	20,28	19,54	6,62	17,28
CV (%) Subparcela		3,45	16,49	11,31	6,59	10,96

^{NS} Não-significativo e * Significativo a 5%.

Trat: Tratamento, Quad: quadrante, CV: coeficiente de variação e S.S.T: sólidos solúveis totais.

Sólidos solúveis totais

Os valores médios de porcentagem de sólidos solúveis totais (SST), nos tratamentos 1, 2 e 3 e nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, variaram de 8,233 a 9,233 (Tabela 33).

Tabela 33 – SST médio da lima ácida ‘Tahiti’, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Tratamento	Oeste	Norte	Sul	leste
1	9,167	9,133	8,633	8,767
2	8,667	8,800	8,510	8,233
3	9,133	9,233	8,467	8,600

O quadro de análise de variância mostra que houve diferença significativa na fonte de variação quadrante. Observa-se que os valores médios de sólidos solúveis totais dos quadrantes oeste e norte diferiram e foram maiores que os obtidos nos quadrantes sul e leste (Tabela 34). A diferença encontrada nesse parâmetro nos diferentes quadrantes possivelmente esteja relacionada com radiação luminosa incidente nos frutos. Alguns trabalhos com outras culturas, a exemplo do café, ressaltaram que a composição química do fruto está relacionada com sua exposição direta à irradiação solar, pois isso influencia o estado de maturação do fruto e, conseqüentemente, a qualidade da bebida. Algumas regiões produtoras de café no Brasil estão adotando o processo de colheita seletiva dos grãos (SOUZA, 2007).

Tabela 34 – Porcentagem de sólidos solúveis totais da lima ácida ‘Tahiti’ submetida a três disposições de microaspersores, na região Norte do Estado de Minas Gerais

Quadrantes	Médias
Sul	8,536 B
Leste	8,533 B
Oeste	8,988 A
Norte	9,056 A

Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre as médias, pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Rendimento de suco

O rendimento de suco não apresentou diferença significativa nas fontes de variação do tratamento, quadrante e tratamentos x quadrante. Os valores médios de rendimento de fruto foram similares nos tratamentos 1, 2 e 3, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, variando de 40,142 a 50,184% (Tabela 35). Souza e colaboradores (2003), estudando a produção e qualidade dos frutos da lima ácida ‘Tahiti’ submetida a

diferentes porcentagens de área molhada por microaspersão, encontraram valores semelhantes de rendimento de suco, de 43,40 a 45,89%, e a diferença na porcentagem de área molhada também não interferiu nos valores observados com relação a esse parâmetro.

Tabela 35 – Porcentagem de rendimento de suco da lima ácida ‘Tahiti’, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Tratamento	Oeste	Norte	Sul	Leste
1	42,959	44,663	40,142	40,809
2	46,803	46,786	42,092	43,598
3	43,308	42,750	44,834	50,184

Peso médio dos frutos

Não foram observadas diferenças significativas para peso médio de frutos produzidos pela lima ácida ‘Tahiti’, em função dos tratamentos aplicados. Entretanto, a análise de variância detectou diferença significativa nesse parâmetro, nos diferentes quadrantes avaliados. Seguindo o mesmo comportamento dos valores de SST, os valores de peso médio de frutos foram maiores nos quadrantes oeste e norte, em comparação com os valores obtidos nos quadrantes sul e leste (Tabela 36).

Tabela 36 – Peso médio dos frutos, em gramas, da lima ácida ‘Tahiti’, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Quadrante	Médias
Sul	70,19 B
Leste	74,72 B
Oeste	93,41 A
Norte	98,13 A

Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre as médias, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Souza et al. (2003) verificaram efeito positivo da irrigação feita por microaspersão no aumento do tamanho final dos frutos de lima ácida ‘Tahiti’, obtendo valores de peso médio de frutos variando de 80,91 a 82,02 g. Esses valores são semelhantes a médias dos tratamentos obtidas neste estudo, que variaram de 80,21 a 87,25, sendo o maior valor referente ao tratamento T2, seguido do T3 e T1.

Concentração de ácido ascórbico

A análise de variância apontou diferença estatística ($P < 0,05$) para a concentração de ácido ascórbico nos frutos da lima ácida ‘Tahiti’, em função dos tratamentos aplicados. A avaliação dos valores médios de ácido ascórbico demonstrou

superioridade do tratamento T3 (20,3 mg/100 g) sobre o tratamento T1 (18,8 mg/100 g). O tratamento T2 (19,4 mg/100 g) não apresentou diferença significativa dos outros (Tabela 37). Esse resultado difere do apresentado por Souza et al. (2003), que relataram que a qualidade final do fruto da lima ácida ‘Tahiti’ não é afetada pela característica do sistema de irrigação.

Tabela 37 – Teor de ácido ascórbico nos frutos (mg/100 g) da lima ácida ‘Tahiti’ submetida a três disposições de microaspersores

Tratamentos	Médias
1	18,8387 B
2	19,3712 AB
3	20,2954 A

Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre as médias, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ácido cítrico dos frutos

O quadro da anova mostra que houve diferença significativa na acidez total titulável para a fonte de variação do quadrante. Observou-se que a acidez total titulável foi maior nos quadrantes sul e leste, em comparação com a obtida no quadrante oeste, sendo que os valores do quadrante norte foram intermediários (Tabela 38). Esse parâmetro apresentou comportamento praticamente inverso ao dos SST e peso médio de frutos, os quais foram maiores nos quadrantes oeste e norte, em comparação com os valores obtidos nos quadrantes sul e leste.

Tabela 38 – Acidez total titulável (g/100 g) determinada em frutos da lima ácida ‘Tahiti’, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste dos tratamentos T1, T2 e T3

Tratamentos	Médias
Oeste	4,166B
Norte	4,499BA
Sul	4,613A
Leste	4,625A

Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre as médias, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

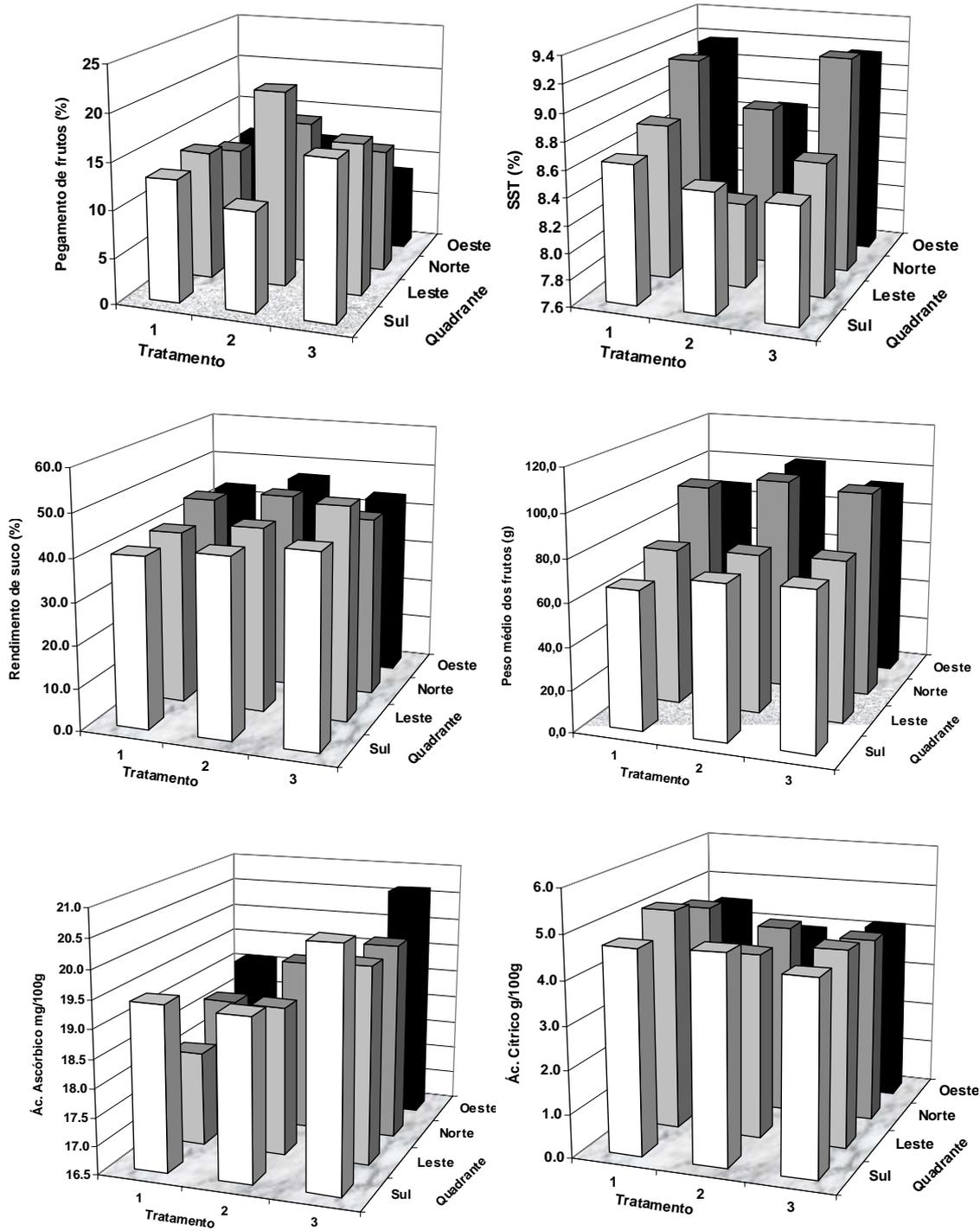


Figura 44 – Concentração de ácido ascórbico dos frutos da lima ácida ‘Tahiti’ nos três tratamentos testados e nos quatro quadrantes avaliados.

Produtividade

Na Tabela 39, encontra-se o resumo da análise de variância das variáveis produtividade, número de frutos e peso médio de frutos. Verifica-se, nessa tabela, que houve efeito ($p < 0,05$) dos tratamentos na produtividade média da lima ácida ‘Tahiti’. Entretanto, o peso médio dos frutos e o número de frutas por planta não apresentaram diferença significativa. Os valores do coeficiente de variação foram de 15,4%, 16,18% e 4,03%, em produtividade média, número de frutos e peso médio de frutos, respectivamente.

Tabela 39 – Resumo da análise de variância da produtividade média, do número de frutos e do peso médio dos frutos da lima ácida ‘Tahiti’, sob o porta-enxerto limão-cravo, submetida a três disposições de microaspersores, na região Norte do Estado de Minas Gerais

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Produtividade Média (kg ha ⁻¹)	Número de Frutos	Peso Médio de Frutos (g)
Bloco	5	7419844,8900	17073,5222	4,6222
Tratamento	2	53352612,3900*	97737,0555 ^{ns}	22,3888 ^{ns}
Resíduo	10	6215729,7200	17459,1888	8,1222
CV (%)		15,4	16,18	4,03

* Significativo a 5% de probabilidade e ^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

Os valores de produtividade média da lima ácida ‘Tahiti’, durante o período de estudo, apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, entre os tratamentos, com superioridade do tratamento T2 (19.506 kg ha⁻¹) em relação ao tratamento T1 (13.545 kg ha⁻¹). A produtividade do tratamento T3 (16.683 kg ha⁻¹), apesar de ser superior à do T1 e inferior à do T2, estatisticamente não apresentou diferença significativa com relação aos outros (Figura 45). Os valores observados nos três tratamentos são superiores aos apresentados no AGRIANUAL (2006), como expectativa de produtividade para essa cultura com 5 anos de idade (11.668,8 kg ha⁻¹). Observou-se também um coeficiente de variação de 15,4% nesse parâmetro avaliado.

Quanto ao fato de os dois outros parâmetros relacionados com produtividade, número médio de frutos por planta e peso médio de frutos não terem apresentado diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, verificou-se que o tratamento T2 exibiu valores maiores, seguido de T3 e T1, conforme a tendência da produtividade. Os valores médios de número de frutos foram de 935,33; 833,17; e 681,67 frutos por planta, respectivamente em T2, T3 e T1, e os valores de peso médio dos frutos coletados por tratamento foram de 72,92; 70,01; e 69,48 g, também em T2,

T3 e T1, respectivamente. O fato de esses parâmetros terem sido maiores no tratamento T2, mesmo sem significância estatística, justifica a produtividade ter sido superior nesse tratamento, pois, além de o número de frutos por planta ter sido maior, os frutos apresentaram maior peso nesse tratamento.

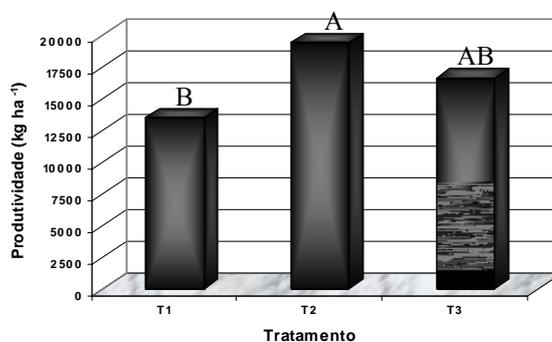


Figura 45 – Produtividade média da lima ácida ‘Tahiti’, nos tratamentos T1, T2 e T3, na região Norte do Estado de Minas Gerais (médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas barras não diferem entre si, a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey).

Relacionando o resultado do Ψ_{wf} com o de produtividade, observou-se que os dois parâmetros apresentaram comportamento similar, com diferença significativa entre os tratamentos. De maneira geral, o tratamento T2 obteve melhor desempenho, seguido do T3 e T1.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados, chegou-se às seguintes conclusões:

- O tratamento T2 proporcionou padrão de distribuição de água mais uniforme, principalmente no perfil transversal, seguido do T3.
- Nos três tratamentos testados, as raízes com diâmetros menores que 2 mm representaram mais de 90% do total.
- Mais de 80% do comprimento total de raízes mais finas (< 2 mm) ocorreu até 0,625 m de profundidade e a uma distância de até 2 m da planta, nos três tratamentos.
- Nos três tratamentos, até a profundidade de 0,625 m ocorreram mais de 85% da extração de água.
- No tratamento T2, seguido do T3, as plantas apresentaram maior taxa de extração de água que as do tratamento T1.
- As plantas do tratamento T2 apresentaram maior fluxo de seiva por unidade de radiação e por unidade de E_{To} que as do T3 e do T1, tanto na fase de floração quanto na fase de frutificação.
- O fluxo de seiva diário das plantas dos três tratamentos avaliados apresentou comportamento diferenciado nos quadrantes.
- As plantas do tratamento T2, seguido do T3, exibiram, no geral, maior transpiração, potencial hídrico e condutância estomática e menor temperatura foliar que as do T1, principalmente nos horários de maior radiação, tanto na fase de floração quanto na de frutificação.
- As plantas do tratamento T2 tiveram melhores condições fisiológicas, nos períodos de floração e frutificação, que as dos tratamentos T3 e T1.
- Os valores de produtividade média da lima ácida 'Tahiti' apresentaram diferença significativa entre os tratamentos T2 ($19.506 \text{ kg ha}^{-1}$) e T1 ($13.545 \text{ kg ha}^{-1}$). A produtividade do tratamento T3 ($16.683 \text{ kg ha}^{-1}$), apesar de superior à do T1 e inferior à do T2, estatisticamente não apresentou diferença significativa.
- Quimicamente, os frutos do T3 e T2 apresentaram teor de ácido ascórbico superior aos do T1, sem diferença entre os quadrantes.
- Observou-se diferença significativa na qualidade dos frutos entre os quadrantes, e o Norte e o Oeste apresentaram maiores valores de peso médio dos frutos e sólidos solúveis totais e menores teores de ácido cítrico.

- Devido aos resultados apresentados, recomenda-se o uso de microaspersores para lima ácida ‘Tahiti’, em disposições similares às dos tratamentos T2 e T3, pelo fato de elas condicionarem maior eficiência do uso de água pela planta e, conseqüentemente, maior produtividade

6. REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo, 2006.

AGUILAR-VILDOSO, C.I.; MULLER, G.W.; TARGON, M.L.P.N.; SCHINOR, E.H. Proteção integrada: doenças. In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O. **Lima ácida ‘Tahiti’**. Campinas, SP: Instituto Agronômico, 2003. 162 p.

ALBRIGO, L.G. Influências ambientais no desenvolvimento de frutos cítricos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS – FISILOGIA, 2., 1992, Bebedouro. **Anais...** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1992. p. 100-106.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, 1998. 297 p. (Paper 56).

and physiological behavior. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 464-467, 2004.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DILLENBURG, L.R.; SANTOS, A.O. Diferença de temperatura dossel-ar como um indicador de déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 5-11, 1999.

BERTONHA, A.; GONÇALVES, A.C.A.; FREITAS, P.S.L. et al. Resposta de laranjeira Pêra em níveis de irrigação. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 2, p. 185-191, 2004.

BIELORAI, H. The effect of partial wetting on the root zone on yield and water use efficiency in a drip and sprinkler-irrigated mature grapefruit grove. **Irrigation Science**, Berlin, v. 3, n. 2, p. 89-100, 1982.

BIELORAI, H. Moisture, salinity and root distribution of drip irrigated grapefruit. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. **Proceedings...** Fresno, 1985. v. 2, p. 562-567.

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. New York: Springer verlag, 1979. 190 p.

BOX, J. E. Modern methods for root investigations. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; DAFKAFI, U. (Eds.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 193-233.

BRAUN, P. Sap flow measurements in fruit trees – Advantages and shortfalls of currently used systems. **Acta Horticulturae**, n. 449, p. 267-272, 1997.

BRUNINI, O. **New devices for in situ measurements of soil and root water potentials and transport of water in the soil – Plant-system**. Guelph: University of Guelph, 1979. 144 p.

CAIRO, P.A.R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista, BA: UESB, 1995. 32 p.

CARLSON, R.E.; MONEM, N.N.; ARJMAND, O; SHAW, H. Leaf conductance and leaf-water potential relationship for two soybeans cultivars grown under controlled irrigation. **Agronomy Journal**, v. 71, p. 21-325, 1979.

CASTLE, W.S.; TUCKER, D.P.H.; KREZDORN, A.H.; YOUTSEY, C.O. Rootstocks selection: the first step to success. In: WOESTE, J.T. (Ed.). **Rootstocks for Florida citrus**. Gainesville: University of Florida, 1989. 47 p.

CASTRO, P.R.C.; MARINHO, C.S.; PAIVA, R. et al. Fisiologia de produção dos citros. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 209, p. 26-38, 2001.

CERMAK, J.; DEML, M.; PENKA, M. A new method of sap flow rate determination in trees. **Biologia Plantarum**, v. 15, p. 171-178, 1973.

COELHO, E. F.; ARRUDA, F. B. Aplicações da técnica de TDR: manejo da água no solo. In: WORKSHOP SOBRE APLICAÇÕES DA TÉCNICA DE TDR (REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO) NA AGRICULTURA, 1., 2001, Campinas. **Aplicações da técnica de TDR na agricultura**. Campinas, SP: UNICAMP, FEAGRI, 2001. p. 129-145.

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

COELHO, E. F.; MAGALHAES, A. F. J.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em citros**. Cruz das Almas, BA: Embrapa, CNPMF, 2004. 16 p. (Circular Técnica, 72).

COELHO, E. F.; SOUZA, V. F.; AGUIAR NETTO, A. O.; OLIVEIRA, A. S. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48 p. (Circular técnica, 40).

COELHO, Y.S.; CUNHA, G.A.P. **Crítérios de avaliação da maturação e qualidade de frutos, com ênfase para citros e abacaxi**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMF, 1982. 20 p. (Circular Técnica, CNPMF).

COELHO FILHO, M.A. **Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tan.) e sua relação com a evapotranspiração de referência**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2002. 91 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M.V.; BERNARDES, M.S. Field determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 3, p. 240-247, 2005.

COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; COELHO, E.F. Avaliação de métodos diretos e indiretos na estimativa de área foliar em árvores de lima ácida ‘Tahiti’. (compact disc). In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro, BA: ABID, 2003. (CD-Rom).

COSTA, E. L.; COELHO, E. F. Irrigação de citros. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 209, p. 54-60, 2001.

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Logan: International Irrigation Center, 1985. 95 p.

DAVID, T. S.; FERREIRA, I.; PEREIRA, J. S.; COHEN, S.; DAVID J. S. Transpiração em árvores isoladas de um Montado de Azinho. Evolução sazonal e condicionantes hidráulicas. **Silva Lusitana**, Lisboa, v.10, n.2, p. 133 - 149, 2002.

DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. **Citrus**. Wallingford: CAB International, 1994. 254 p.

DAVIES, W.J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytol.**, n. 153, p. 449 - 460, 2002.

DELVIN, R.M. **Fisiologia vegetal**. Barcelona: Omega, 1975. 614 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144 p. (Irrigation and Drainage, 24).

DUBÉ, P.A.; STEVENSON, K.R.; THURTELL, G.W. Comparison between two inbred corn lines for diffusive resistances, photosynthesis and transpiration as a function of leaf water potential. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v. 54, p. 765-70, 1974.

EHRLER, W. L.; IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Wheat Canopy temperatura: Relation to plant water potencial. **Agron. J.**, v. 70, p. 251-256, 1978.

FERREIRA, C.R.R.P.T.; VEGRO, C.L.P. Feijão. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 29, n. 7, p. 101-3, 1999.

FNP CONSULTORIA & AGROINFORAMTIVOS. **Agrianual 2004**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2004. p. 496.

FRACARO, A. A.; PEREIRA, F. M. Distribuição do sistema radicular da goiabeira 'Rica' produzida a partir de estaquia herbácea. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 183-185, abr. 2004.

FUJIWARA, M.; KURACHI, S.A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C. da M.; SAKAI, E. **A técnica de estudo de raízes pelo método do trado**. Campinas, SP: IAC, 1994. 9 p.(IAC – Boletim Técnico, 153).

GIORGI, DI, F.; YASUHIRO, B.; KELSON DIB, I.; MARCHI, R. J.; TRIBONI, H. R.; WAGNER, R. L.; ANDRADE, G. Influência climática na produção de laranja. **Laranja**, v. 1, n. 12, p. 163-192, 1991.

GINESTAR, C.; CASTEL, J.R. Responses of Young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. **Journal of Horticultural Science**, v. 71, n. 4, p. 551-559, 1996.

GOLDMANN, I.L.; CARTER, T.E. JR.; PATTERSON, R.P. A detrimental interaction of subsoil aluminum and drought estress on the leaf water status of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 3, p. 461-463, 1989.

GOLDBERG, D.; GORNAT, B.; RIMOM, D. **Drip irrigation**: principles, design and agricultural practices. Israel: DIS publications, 1986.

GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; CASTEL, J.R. Effects of regulated deficit irrigation on 'Clementina de Nules' citrus trees growth, yield and fruit quality. **Acta Horticulturae**, n. 537, p 749-758, 2000.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, v. 42, n. 2, p. 81-88, 1985.

GRANIER, A. Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. **Annales des Sciences Forestières**, v. 44, n. 1, p. 1-14, 1987.

GUTIÉRREZ, M.V.; HARRINGTON, R.A.; MEINZER, F.C.; FOWNES, J.C. The effect of environmentally induced stem temperature gradients on transpiration estimates from the heat balance method in two tropical woody species. **Tree Physiology**, v. 14, p. 179-190, 1994.

HALE, M.G.; ORCUTT, D.M. **The physiology of plants under stress**. New York: John Welley, 1987. 206 p.

HERRMANN JÚNIOR, P. S. de P. Aspectos básicos da reflectometria no domínio do tempo (TDR) e potencialidades de aplicação na física do solo. In: WORKSHOP SOBRE APLICAÇÕES DA TÉCNICA DE TDR (REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO) NA AGRICULTURA, 1. – Aplicações da técnica de TDR na agricultura, 2001, Campinas. **Resumos...** Campinas, SP: UNICAMP, FEAGRI, 2001. p. 37-50.

HERNANDEZ-ABREU, J. M.; PEREZ REGALADO, A.; RODRIGO LOPEZ, J.; GONZALEZ HERNANDEZ, J. F. **El riego localizado**. Curso internacional de riego localizado. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 317 p.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, p. 519-570, 1973.

JARVIS, P. G. Stomatal response to water stress in conifers. In: TURNER N. C.; KRAMER P. J. (Eds.). **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: John Wiley and Sons, 1980. p. 105-22.

JONES, H.G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2427-2436, 2004.

KANBER, R.; KOKSAL, H.; ONDER. S.; EVLEN, LM. Effects of different irrigation methods on yield, evapotranspiration and root development of young orange trees. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 20, n. 2, p. 163-172, 1996.

KASPAR, T. C.; EWING, R. P. Rootedge: Software for measuring root length from desktop scanner images. **Agronomy Journal**, v. 89, p. 932-940, 1997.

KELLER, J.; BLIESNER, D.R. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: von Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler. Glendora, California: [s.n.], 1975. 133 p.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 215 p.

KLAR, A. E. **Irrigação: frequência e quantidade de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1991. 153 p.

KRAJEWSKI, A.J.; RABE, E. Citrus flowering: a critical evaluation. **Journal of Horticultural Science**, v. 70, n. 3, p. 357-374, 1995.

KRIEDEMANN, P.E.; BARRS, H.D. Citrus orchards. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1981. v. 7, p. 325-417.

LARCHER, W. **“Physiological Plant Ecology”**. Berlin: Springer, 1995.

LIBARDI, P. L. **A dinâmica da água no solo**. Piracicaba, SP: Ed. Autor, 1995. 497 p.

LOPES, B.F.; SETER, T.L.; McDAVID, C.R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. **Crop Science**, Madison, v. 28, p. 141-145, 1988.

LOVATT, C.J.; ZHENG, Y.; HAKE, S.D. Demonstration of a change in nitrogen metabolism influencing flower initiation in *citrus*. **Israel Journal of Botany**, n. 37, p. 181-188, 1988.

LU, P.; MÜLLER, W.J.; CHACRO, E.K. Spatial variations in xylem sap flux density in the trunk of orchard-grown, mature mango trees under changing soil water conditions. **Tree Physiology**, v. 20, p. 683-692, 2000.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P. R. C. et al. **Eco-fisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-12.

MACHADO, C. C.; COELHO, R. D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão “Cravo” enxertado com lima ácida ‘Tahiti’. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 21, n. 2, p. 359-380, 2000.

MAGALHÃES, A. F. de J. Calagem e adubação. In: MAGALHÃES, A.F.J. (Org.). **Cultivo dos citros**. 1. ed. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2004. v. 1, p. 36-43.

MAGALHÃES, M. I. **Uniformidade de fertirrigação em um sistema de irrigação por gotejamento**. Fortaleza: UFC, 1996. 64 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MAGGIOTTO, S. R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. Piracicaba, SP: Esalq-USP, 1996. 71 p.

MANGUEIRA, D.S.; SILANS, A.M.B.P. de. Transpirômetro - Princípios teóricos e viabilidade técnica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 621-632, 1995.

MANSFIELD, T.A.; DAVIES, W.J. "Mechanisms for leaf control of gas-exchange." **Bioscience**, v. 35, p. 158 - 164, 1985.

MARIN, R.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 2, p. 219-228, 2002.

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A. E SENTELHAS, P. C. Fluxo de seiva e evapotranspiração num pequeno pomar de citros irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 219-226, 2001.

MARIN, F. R. **Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de lima ácida 'Tahiti'**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2000. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARS, M.; ABDERRAZAKR, R.; MARRAKCHI, M. Effets de la date de récolte, de l'orientation des fruits et de leur position dans la frondaison. **Fruits**, Paris, v. 49, n. 4, p. 269-278, 1994.

MASSAI, R.; REMORINI, D.; FERREIRA, M.I.; PAÇO, T.A. Sap flow in peach trees during water stress and recovery in two environmental conditions. **Acta Horticultural**, v. 537, p. 351-358, 2000.

MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O. **Lima ácida 'Tahiti'**. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 2003. 162 p.

MEDINA, C. L. Fisiologia da produção, In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O. **Lima ácida 'Tahiti'**, Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 2003. 162 p.

MONSELISE, S.P. Citrus. In: MONSELISE, S.P (Ed.). **Handbook of fruit set and development**. Boca Raton: CRC Press, 1986. p. 87-108.

MONTENEGRO, H. W. S. **Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1960. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MOREIRA, C. S. Manejo de solo em pomar cítrico. **Laranja**, v. 2, n. 9, p. 423-436, 1988.

MOSS, G.I. Temperature effects on flower initiation in sweet orange (*Citrus sinensis*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 27, p. 399-407, 1976.

MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1983.

- NOGUEIRA, C.C.P.; COELHO, E.F.; LEÃO, M.C.S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 315-320, 2000.
- OLUFAYO, A.; BALDY, C.; RUELLE, P. Sorghum yield, water use and canopy temperature under different level of irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 30, n. 1, p. 77-90, 1996.
- OR, D.; WRAITH, J.M. **Agricultural and environmental soil physics**. Logan: Utah State University, 1997. 218 p.
- OTTO, S. R. L. Manejo de irrigação com o TDR. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2001. p. 199-203.
- PAZZETTI, G. A.; CANO, M. A. O.; RESENDE, M. Aplicação da termometria por infravermelho a irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): parâmetros fisiológicos. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 4, n. 1, p. 27-31, 1992.
- PIRE, R.; BAUTISTA, D.; ROJAS, E. The influence of soil moisture on the vegetative and reproductive growth of orange trees under tropical conditions. **Acta Horticulturae**, n. 335, p. 527-534, 1993.
- PIRES, R.C.M. Manejo da água na irrigação dos citros. **Laranja**, v. 1, n. 13, p. 237-260, 1992.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF):** goteo, microaspersión, exudación. 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 471 p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera** – Conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP: Manole, 2004. 478 p.
- ROJAS, J. S. D. **Avaliação do uso de fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2003. 110 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior da Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Aferição do controle da irrigação feito pelos agricultores utilizando tensiômetros de faixas**. São Paulo: IPT, 1994. 15 p. (IPT – Comunicação Técnica).
- SANTOS, D.B. dos; COELHO, E.F.; AZEVEDO, C.A.V. de. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 327-333, 2005.
- SAKAI, E.; BULIZANI, E.; BRUNINI, O.; MURAMOTO, C.A. Efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas em feijoeiro (cv.IAC-carioca 80). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Brasília. **Anais...** Brasília: PRONI, 1987. p. 370-6.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water sap flow in the stem of intact plant. **Journal of Agricultural Meteorology**, v. 39, n. 1, p. 9-17, 1981.

SEBANEK, J. **Plant Physiology**. Amsterdam: Elsevier, 1992.

SEPASKHAH, A. R.; KASHEFIPOUR, S. M. Evapotranspiration and crop coefficient of sweet lime under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 27, p. 331-340, 1995.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Molecular responses to drought and cold stress. **Curr. Opin. Biotechnol.**, v. 7, p. 161-167, 1996.

SILVA, B.B. da; SLACK, D.C.; KILBY, M.W.; HLA, A.K. Measurements of water requirements of table grapes in Arizona (USA). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 2, p. 175-183, 2000.

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

SILVA, J. G. F. da **Efeitos de diferentes lâminas e frequências de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade do mamoeiro (*Carica papaya* L.)**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, C. R. da, Water relations and photosynthesis as criteria for adequate irrigation management in 'Tahiti' lime trees. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 62, n. 5, 2005.

SILVA, L.C.; FIDELES FILHO, J.; BELTRÃO, E.M.; RAMANA RAO, T.V. Variação diurna da resistência estomática à difusão de vapor de água em amendoim irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 3, p. 269-76, 1998.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Goiânia, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. v. 1, 230 p.

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.; ZAMBOLIM E. **Manga** – Produção integrada, industrialização e comercialização. Viçosa, MG: UFV. 2004. 604 p.

SISVAR – **Sistema para análise de variância** para Windows, versão 4.3. Lavras, MG: UFLA, 2000.

SYVERTSEN, J.P. Minimum leaf water potential and stomatal closure in citrus leaves of different ages. **Annals of Botany**, Oxford, v. 49, p. 827-834, 1982.

SOUTHWICK, S.M.; DAVENPORT, T.L. Modification of water stress-induced floral response in 'Tahiti' lime. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 112, n. 2, p. 231-236, 1987.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 63-68, 2002.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Experiência do Laboratório de Hidráulica Irrigação e Drenagem da Faculdade de Engenharia Agrícola/Unicamp no uso da técnica da TDR In: MATSURA, E.E.; JAVAREZ JUNIOR, A.; GOMES, E.P.; SOUZA, C.F. **Aplicações da técnica de TDR na agricultura**. Campinas, SP: UNICAMP, 2001. 178 p.

SOUZA, M.J.H.; RAMOS, M.M.; SIQUEIRA, D.L.; COSTA, L.C.; LHAMAS, A.J.M.; MANTOVANI, E.C.; CECON, P.R.; SALOMÃO, L.C.C. Produção e qualidade dos frutos da lima ácida 'Tahiti' submetida a diferentes porcentagens de área molhada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 245-250, 2003.

SOUZA, S. M. S. de. **Produção de café de qualidade: colheita e preparo**. Disponível em: <<http://www.coffeebreak.com.br/ocafezal>>. Acessado em: 16 maio 2007.

SPIGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of citrus**. London: Cambridge University Press, 1996. 230 p.

STEINBERG, S.L.; McFARLAND, M.J.; WORTHINGTON, J.W. Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in pecan. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 227, p. 653-659, 1990.

STEINBERG, S.L.; VAN BAVEL, C.H.M.; McFARLAND, M. A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunks of woody plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 114, p. 466-472, 1989.

STEPPUHN, H. Pré-irrigation of a severely-saline soil with in-situ water to establish dryland forages. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v 44, n. 6, p. 1543-1551, 2001.

TAYLOR, H.M.; KLEPPER, B. The role of rooting characteristics in the supply of water to plants. **Advances in Agronomy**, v. 30, p. 99-128, 1978.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEIXEIRA, A. H. de C.; AZEVEDO, P. V. de. Potencial agroclimático do Estado de Pernambuco para o cultivo da acerola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 105-113, 1994.

TENHUNEN, J.D.; PEARCY, R.W.; LARANCE, O.L. Diurnal variation in leaf conductance and gas exchange in natural environments. In: ZEIGER, E.; FARQUHAR, G.; COWAN, I. (Eds.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University Press, 1987. p. 323-351.

TOLK, J.A.; HOWELL, T.A.; EVETT, S.R. Evapotranspiration and yield of corn grown in three High Plains soils. **Agron. J.**, v. 90, p. 447-454, 1998.

TOMMASELLI, J. T. G. **Influência de algumas características do solo sobre a calibração de um aparelho TDR (Time domain reflectometry)**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1997. 108 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content; measurement in coaxial lines. **Water Resources Research**, v. 16, n. 3, p. 574-582, 1980.

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

TURNER, N.C. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. **Plant Physiology**, Rockville, v. 53, n. 3, p. 360-5, 1974.

VALANCOGNE, C.; NASR, Z. A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. (Eds.). **Water transport in plants under climatic stress**. New York: Cambridge University Press, 1993. p. 166-173.

VIEIRA, D. B.; GOMES, E. M. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do limão cravo com copa de lima ácida "Tahiti". **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v. 20, n. 2, p. 419-431, 1999.

VILLA NOVA, N.A. Estimativa da transpiração máxima de macieiras em pomares irrigados pelo método da advecção-aridez adaptado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBA, 1999. CD-Rom.

WEIBEL, F.P.; BOERSMA, K. An improved stem heat balance method using analog heat control. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 75, p. 191-208, 1995.

WEIBEL, F.P.; de VOS, J.A. Transpiration measurements in apple trees: an improved stem balance heat method. **Plant and Soil**, v. 166, p. 203-217, 1994.

ZEKRI, M.; PARSONS, L.R. Grapefruit leaf and fruit growth in response to drip, microsprinkler, and overhead sprinkler irrigation. **Journal of American Society for Horticultural Science**, St. Joseph, v. 1, n. 114, p. 25-29, 1989.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)