

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES E A RELAÇÃO COM O ESTADO HÍDRICO DE
LARANJEIRA ‘VALÊNCIA’ ENXERTADA SOBRE LIMOEIRO ‘CRAVO’**

ELISA ADRIANO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Horticultura).

BOTUCATU – SP

ABRIL – 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES E A RELAÇÃO COM O ESTADO HÍDRICO DE
LARANJEIRA ‘VALÊNCIA’ ENXERTADA SOBRE LIMOEIRO ‘CRAVO’**

ELISA ADRIANO

Orientador: Prof. Dr. João Domingos Rodrigues

Co-orientador: Prof. Dr. Jean-Paul Laclau

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Horticultura).

BOTUCATU – SP

ABRIL – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Adriano, Elisa, 1984-
A243d Distribuição de raízes e a relação com o estado hídrico de laranjeira 'Valência' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' / Elisa Adriano. - Botucatu : [s.n.], 2015
ix, 61 f. : ils., grafs. color., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: João Domingos Rodrigues
Coorientador: Jean-Paul Laclau
Inclui bibliografia

1. Laranja - Raízes. 2. Biomassa. 3. Fotossíntese. 4. Solos - Umidade. I. Rodrigues, João Domingos. II. Laclau, Jean-Paul. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES E A RELAÇÃO COM O ESTADO
HÍDRICO DE LARANJEIRA 'VALÊNCIA' ENXERTADA SOBRE
LIMOEIRO 'CRAVO'

AUTORA: ELISA ADRIANO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JEAN-PAUL LACLAU

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA
(HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES
Departamento de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu

Profa. Dra. ELIZABETH ORIKA ONO
Departamento de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu

Prof. Dr. MARCOS VENTURA FARIA
UNICENTRO - Campus CEDETEG - Guarapuava/PR

Profa. Dra. ANDRÉA CARVALHO DA SILVA
Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais / Universidade Federal de Mato Grosso

Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS
Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Data da realização: 02 de abril de 2015.

Aos meus pais, Maria e Francisco, por se fazerem presentes na minha vida em todos os momentos, mesmo quando não estão próximos,

Dedico

Aos meus filhos, Julia e Davi, que são agora meus maiores motivos de alegria

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Aos meus irmãos e seus respectivos esposos, esposas e filhos que ajudam a fazer de nossa família uma “grande família”.

Ao meu esposo Eder pelo apoio no trabalho e nos momentos difíceis.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

À FAPESP pelo suporte financeiro do projeto.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Domingos Rodrigues, que além de me orientar neste trabalho acreditou na minha capacidade de superar obstáculos, demonstrando confiança e amizade.

Ao meu co-orientador Jean-Paul Laclau pela paciência e apoio no trabalho de campo, processamento dos dados e confecção dos artigos.

À equipe ‘FLORAGRO – apoio à pesquisa’, pelo excelente trabalho de instalação dos equipamentos e suporte na coleta de dados.

À Fazenda Real por ceder a área do experimento.

À Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – ESALQ/USP, na pessoa de Rildo Moreira e Moreira, por ceder o laboratório para separação das raízes.

A todos os docentes e funcionários do departamento de Produção Vegetal – Horticultura, Seção de Pós- Graduação e Biblioteca pela atenção e disponibilidade.

A todos que contribuíram para realização deste trabalho, muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 Introdução.....	5
2 Revisão de literatura.....	8
2.1 Classificação botânica e histórico da cultura.....	8
2.2 Importância econômica.....	8
2.3 Características da copa e porta-enxerto.....	9
2.4 Relações hídricas.....	10
2.5 Sistema radicular.....	12
3 Material e métodos.....	16
3.1 Localização e caracterização do experimento.....	16
3.2 Delineamento experimental.....	18
3.3 Estudo de raízes.....	19
3.4 Biomassa aérea.....	23
3.5 Aspectos fisiológicos e estado hídrico.....	24
3.6 Instalação dos equipamentos.....	25
3.7 Análise dos dados.....	28
4 Resultados e discussão.....	30
4.1 Condições meteorológicas e umidade do solo.....	30
4.2 Distribuição das raízes finas.....	32
4.3 Biomassa.....	40
4.4 Aspectos fisiológicos e estado hídrico.....	42
5 Considerações.....	53
6 Conclusões.....	54
7 Referências.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas e químicas das camadas do solo de 0 – 800 cm de profundidade. Análise realizada em janeiro de 2014. Itatinga – SP.....	17
Tabela 2 - Valores de <i>p</i> para os efeitos de época, tratamento, profundidade e posição e a interação entre época e tratamento, tratamento e profundidade, época e profundidade, tratamento e posição, época e posição, profundidade e posição, do diâmetro médio das raízes, comprimento radicular específico (CRE), área radicular específica (ARE) e densidade de raízes finas (DRF) em pomar de laranja ‘Valência’ avaliadas no fim da estação seca de 2012 (setembro/outubro) e no fim da estação chuvosa de 2013 (março/abril). Efeitos significativos (<i>p</i> <0,05) são indicados em negrito. Itatinga – SP.....	40
Tabela 3 - Diâmetro do tronco, índice de área foliar (IAF), biomassa seca de parte aérea, biomassa seca abaixo do solo e produção de frutos de laranjeira ‘Valência’ em 2012, 2013 e 2014 nos tratamentos de sequeiro e irrigado. Itatinga – SP.....	42

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Amostragem para medições de densidade de raízes finas. As quatro posições de amostragem (P1, P2, P3 e P4) (círculos cinzas cheios) foram distribuídos em distâncias diferentes em 4 árvores (círculos pretos cheios) em cada parcela. O número total de pontos amostrados no estudo foram 128 (4 posições x 2 tratamentos x 4 blocos x 4 datas). As posições 2 e 3 foram amostradas até 1 m de profundidade e as posições 1 e 4 foram amostradas até 10 m de profundidade. A área sombreada em cada entrelinha indica a presença de braquiária, cujas raízes foram amostradas na posição 4. O retângulo rachurado indica a posição das trincheiras para amostragem das raízes médias. As linhas azuis indicam a posição da linha de gotejadores. Itatinga – SP..... 20
- Figura 2 - a) Coleta de solo com trado motorizado para amostragem de raízes finas; b) detalhe da broca de coleta de solo; c) separação de raízes finas para determinação da massa seca e área de raízes; d) detalhe das raízes de laranjeira e de braquiária. Itatinga – SP.....21
- Figura 3 - a) Trincheira de 1 m de profundidade x 3 m de comprimento x 1 m de largura aberta para coleta de raízes médias de laranjeira ‘Valência’. b) Escavação para retirada de toco e raízes grossas de laranjeira ‘Valência’. Itatinga – SP, 2014.....22
- Figura 4 - a) Corte das laranjeiras, separação e determinação do peso fresco dos componentes para determinação de biomassa aérea (tronco, galhos, folhas e frutos); b) detalhe da separação das folhas da laranjeira ‘Valência’. Itatinga – SP, 2012.....24
- Figura 5 - a) Sensores de umidade do solo (TDR Mintrase, Soil moisture USA), instalados no perfil do solo por meio da abertura de trincheiras no pomar de laranja ‘Valência’; b) detalhe do sensor TDR instalado a 5 m de profundidade. Itatinga – SP.....26
- Figura 6 - a) sensores de fluxo de seiva; b) detalhe do início do processo de confecção das agulhas que compõe os sensores de fluxo de seiva.....26
- Figura 7 - Ilustração da inserção dos sensores de fluxo de seiva no tronco da planta para estimativa do consumo de água pelo método de Granier (1985).....27
- Figura 8 - a) sensores de fluxo de seiva instalados no tronco das laranjeiras; b) sistema de fornecimento de energia (baterias e fontes), coleta e armazenamento de dados (multiplexador e CR1000). Itatinga – SP.....28
- Figura 9 - Precipitação (barras cinza) e irrigação (barras vermelhas) em mm e temperatura média em °C (linha preta) no período de janeiro de 2012 a maio de 2014 em pomar de laranja ‘Valência’. As setas pretas indicam as épocas de amostragem de raízes finas. A seta

azul indica o período de estresse hídrico controlado para indução de florescimento. Itatinga – SP.....	31
Figura 10 - Balanço de água no solo (mm) nos tratamentos sequeiro e irrigado nas camadas do perfil do solo (0-0,15; 0,15-0,50; 0,50-1,0; 1,0-2,0; 2,0-3,5 e 3,5-5,0 m) nos meses de fevereiro de 2013 a maio de 2014 em pomar de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	32
Figura 11 - Densidade de massa de raízes (DMR) a), densidade de comprimento radicular (DCR) b) e índice de área radicular (IAR) c) em pomar de laranja ‘Valência’ em condições de sequeiro e irrigado, a partir de setembro de 2012 até abril de 2014. As épocas avaliadas representam o final da estação seca (setembro/outubro) e chuvosa (março/abril). Os erros padrões entre os blocos são indicados ($n = 4$). Letras diferentes maiúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos e as estações para o total de raízes. Letras diferentes minúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos e as estações para cada camada do solo. Itatinga – SP.....	33
Figura 12 - Distribuição das raízes finas ($g\ dm^{-3}$) até a máxima profundidade para os tratamentos sequeiro e irrigado em pomar de laranja ‘Valência’. Médias dos períodos de setembro de 2012 a abril de 2014. a) Raízes de laranjeira amostradas na posição 1 (mais próximo do tronco); b) raízes de laranjeira amostradas na posição 4 (mais distante do tronco) e c) raízes de braquiária amostradas na entrelinha. Itatinga – SP.....	36
Figura 13 - Proporção acumulada de massa seca de raízes finas até a máxima profundidade para os tratamentos sequeiro e irrigado, nas estações seca e chuvosa, no período de setembro de 2012 a abril de 2014 em pomar de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	37
Figura 14 - Diâmetro (a), comprimento radicular específico (CRE) (b), área radicular específica (ARE) (c) em pomar de laranja ‘Valência’ em condições de sequeiro e irrigado, no fim da estação seca (setembro/outubro) de 2012 e Diâmetro (d), CRE (e), ARE (f) em pomar de laranja ‘Valência’ em condições de sequeiro e irrigado, no fim da estação chuvosa (março/abril) de 2013. Itatinga – SP.....	38
Figura 15 - Potencial hídrico foliar de base e potencial hídrico foliar mínimo, medidos com Bomba de Scholander, para os tratamentos, sequeiro e irrigado, ao longo do período de outubro de 2012 a maio de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	43

Figura 16 - Taxa de assimilação de CO ₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nos tratamentos sequeiro e irrigado no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	45
Figura 17 - Condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), nos tratamentos sequeiro e irrigado no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	46
Figura 18 - Eficiência de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$) nos tratamentos sequeiro e irrigado no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	47
Figura 19 - Transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) medida com LI- 6200, nos tratamentos sequeiro e irrigado no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	48
Figura 20 - Eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) nos tratamentos sequeiro e irrigado, no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	49
Figura 21 - Transpiração média diária (mm dia^{-1}), estimada por fluxo de seiva, para os meses de maio de 2013 a maio de 2014 nos tratamentos sequeiro e irrigado, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.....	50
Figura 22 - Balanço entre a quantidade de água que entrou no sistema e a quantidade de água transpirada pelas plantas de laranja ‘Valência’ nos tratamentos sequeiro (precipitação - transpiração) e irrigado [(precipitação + irrigação) – transpiração] no período de maio de 2013 a maio de 2014 . Itatinga – SP.....	51

DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES E A RELAÇÃO COM O ESTADO HÍDRICO DE LARANJEIRA ‘VALÊNCIA’ ENXERTADA SOBRE LIMOEIRO ‘CRAVO’

Botucatu, 2015. 61p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista.

Autora: ELISA ADRIANO

Orientador: João Domingos Rodrigues

Co-orientador: Jean-Paul Laclau

RESUMO

Dentre os fatores relacionados ao desenvolvimento e produção das plantas cítricas a disponibilidade hídrica é um dos mais relevantes. A utilização de irrigação em pomares de citros vem apresentando grande aumento e essa demanda gera a necessidade de estudos envolvendo a condição hídrica das plantas e de todos os processos relacionados ao uso da água. O objetivo do trabalho foi estudar a distribuição do sistema radicular da laranja ‘Valência’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ até a máxima profundidade em sistema irrigado e de sequeiro em solo arenoso e a relação entre a distribuição das raízes e a condição hídrica das plantas. O trabalho foi realizado em pomar comercial no município de Itatinga/SP. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, sendo constituído de dois tratamentos (irrigado e sequeiro) e quatro repetições. O sistema radicular da laranja foi avaliado até a profundidade máxima por meio de coletas de solo com trado motorizado, estimando-se a massa e a área de raízes finas. O incremento de biomassa foi estimado por meio de medições de biomassa aérea, biomassa de raízes e produção de frutos. O estado hídrico das plantas foi monitorado por meio de sensores de fluxo de seiva, avaliações mensais do potencial foliar de base e potencial foliar mínimo, avaliações mensais de trocas gasosas e condutância estomática. A biomassa total de raízes finas e a profundidade máxima de enraizamento foram maiores no tratamento de sequeiro que no irrigado. A aplicação de água, equivalente à 3% - 15% da precipitação anual, dependendo do ano de estudo, reduziu até 14% a biomassa de raízes finas com relação ao tratamento mantido em sequeiro e diminuiu 1 m a profundidade máxima de enraizamento. A densidade de massa de raízes finas ficou entre 536 g m^{-2} no tratamento irrigado, durante a estação seca de 2012 e 1210 g m^{-2} no tratamento de sequeiro, durante a estação chuvosa de 2014. A profundidade máxima do sistema radicular foi de 6,5 m no tratamento irrigado e 7,5 m no sequeiro. O diâmetro

médio de raízes foi de 0,65 mm para ambos os tratamentos no período chuvoso e 0,57 mm durante a estação seca. O uso de irrigação aumentou até 8,9% na produção de frutos no período mais seco. Com relação ao estado hídrico das laranjeiras, o uso da irrigação por gotejamento melhorou a condição hídrica das plantas, medida pelo potencial foliar hídrico, nos períodos de seca. Não houve diferença entre os tratamentos com relação à transpiração, medida por fluxo de seiva, uma vez que as raízes mais profundas no tratamento de sequeiro tiveram acesso à água armazenada nas camadas profundas do solo, compensando a água aplicada no tratamento irrigado.

Palavras-chave: *Citrus sinensis*, sistema radicular, fotossíntese, potencial hídrico foliar.

DISTRIBUTION OF ROOTS AND THE RELATIONSHIP WITH THE HIDRIC CONDITION OF ORANGE TREE 'VALENCIA' GRAFTED ON RANGPUR LIME.

Botucatu, 2015. 61p. Thesis (PhD in Agronomy) – Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista.

Author: ELISA ADRIANO

Adviser: João Domingos Rodrigues

Co-adviser: Jean-Paul Laclau

SUMMARY

Among the factors related to the development and production of citrus water availability is one of the most relevant. The use of irrigation in citrus orchards have been great increase and this demand creates the need for studies involving the water status of plants and all processes related to water use. The objective was to study the root distribution of 'Valencia' orange grafted on 'Rangpur' lime and the maximum depth in irrigated and rainfed system in sandy soil and the relationship between the distribution of the roots and the water status of plants. The study was conducted in a commercial orchard in the city of Itatinga / SP. The experimental design was a randomized block, consisting of two treatments (irrigated and rainfed) and four replications. The root of the orange system was evaluated and the maximum depth through soil samples with motorized auger, estimating the mass and area of roots. The increase of biomass was estimated by biomass measurements, root biomass and fruit production. The water status of plants was monitored by means of sap flow sensors, monthly reviews of the bottom leaf potential and minimum leaf potential, monthly reviews of gas exchange and stomatal conductance. The total biomass of fine roots and the maximum depth of rooting were higher in rainfed than in irrigated. The application of water, equivalent to 3% - 15% of annual rainfall, depending on the study year, reduced to 14% biomass of fine roots regarding the rainfed treatment and decreased 1 m maximum depth of rooting. The mass density of fine roots was between 536 g m⁻² in the irrigated treatment during the dry season of 2012 and 1210 g m⁻² in the rainfed treatment during the rainy season of 2014. The maximum depth of the root system was 6.5 m in irrigated treatment and

7.5 m in the rainfed. The average root diameter was 0.65 mm for both treatments during the rainy season, and 0.57 mm during the dry season. The use of irrigation increased to 8.9% in fruit production during the dry season. Regarding the water status of the orange trees, the use of drip irrigation improved the water status of the plants, as measured by leaf water potential in dry periods. There was no difference between treatments in relation to transpiration, measured by sap flow, since the deepest roots in the rainfed treatment had access to water stored in deep soil layers, making up for the water applied to the irrigated treatment.

Keywords: *Citrus sinensis*, root system, photosynthesis, leaf water potential.

1. INTRODUÇÃO

Meta-análises mostram que as raízes em ecossistemas terrestres atingem, em média, uma profundidade maior em regiões tropicais do que em regiões temperadas e que as árvores tendem a ter raízes mais profundas do que arbustos e ervas (JACKSON et al., 1997; SCHENK & JACKSON, 2002). Raízes profundas são comumente definidas como raízes que crescem abaixo de 1 metro de profundidade (MAEGHT et al., 2013), mas as raízes podem ser encontradas muito mais profundamente no solo, quando não há barreira para o crescimento da raiz, até 50-60 m, em alguns casos (STONE & KALISZ, 1991).

Estudos recentes mostraram que as raízes profundas desempenham papel importante para o fornecimento de água para as culturas e florestas, em particular durante os períodos secos (BATTIE-LACLAU & LACLAU, 2009; BLEBY et al., 2010; LACLAU et al., 2013). No entanto, devido à dificuldade e alto custo de amostragem, existem poucos estudos que avaliam a distribuição de raízes finas até a máxima profundidade e os valores comumente utilizados na literatura para ecossistemas tropicais podem ter sido subestimados (BÖHM, 1979; JACKSON et al., 1997; FREYCON et al., 2015).

Embora a capacidade de absorção de água e nutrientes dependa da arquitetura das raízes finas, a morfologia de raízes finas em perfis profundos do solo permanece pouco documentada (ROUMET et al., 2008). Raízes de diferentes tamanhos e ordens tem funções diferentes (absorção de nutrientes, transporte, apoio) e, portanto, tem diferentes atividades metabólicas (PREGITZER et al., 1998; ANDERSON et al., 2007). Em plantas perenes, a plasticidade de raízes finas é uma característica fenotípica

altamente dependente de heterogeneidade do solo e interações bióticas (HODGE, 2004; ROUMET et al., 2006; RYSER, 2006).

Correlações com o conteúdo de água no solo sobre o crescimento de raízes finas foram mostrados para muitas culturas e espécies de árvores (THONGO M'BOU et al., 2008; BATTIE-LACLAU e LACLAU, 2009; MA et al., 2013). No entanto, um grande número de variáveis, tais como os recursos do solo e fatores ambientais influenciam o crescimento e a distribuição vertical de raízes finas (SCHENK, 2005).

A cultura dos citros tem grande importância econômica no Brasil. A área de pomares cítricos colhidos em 2012 no País foi de 782.041 ha, dos quais, 525.514 ha estavam localizadas no estado de São Paulo. O Brasil é responsável por cerca de 37% da produção mundial de laranja e é o primeiro exportador de suco de laranja com cerca de 60% da produção global (AGRIANUAL, 2013).

Apesar da grande importância econômica e social dos pomares de citros no Brasil e da necessidade de informações detalhadas sobre as características hidráulicas das plantas para gerenciar com precisão a irrigação, para nosso conhecimento, a distribuição das raízes são pouco estudadas em grandes profundidades (FORD, 1954; WHITNEY et al., 1991; COELHO et al., 2002; CRUZ et al., 2005; SOUZA et al., 2008).

Plantas cítricas transpiram durante todo o ano, e as necessidades de água variam entre 900-1300 mm por ano, dependendo das condições climáticas, densidade de plantio e índice de área foliar (PARSON & WHEATON, 2000; SHIRGURE et al., 2000).

A área irrigada de citros no estado de São Paulo é de aproximadamente 20% da área cultivada e o sistema de irrigação por gotejamento é o mais utilizado (COELHO, 2010; SALOMÃO et al., 2012.). O uso da irrigação em pomares de citros vem aumentando, uma vez que esta técnica trouxe melhoria na produtividade dos pomares, melhor crescimento das plantas e qualidade dos frutos (PIRES et al., 2005; BREMER NETO et al., 2013). Mesmo em regiões onde a precipitação anual é relativamente alta, a distribuição desigual das chuvas pode justificar o uso da irrigação (PIRES et al., 2005).

No futuro, as mudanças climáticas deverão aumentar a duração dos períodos secos no Brasil (IPCC, 2013), o que poderá tornar a irrigação obrigatória para a produção de citros. Modelos utilizados para conduzir com precisão as exigências das

culturas precisam de estimativas de densidade de raízes finas até a máxima profundidade de raízes, pois as pequenas densidades de raízes profundas podem retirar quantidades significativas de água e, portanto, pode ser essencial para explicar o comportamento da planta durante a seca (OLIVEIRA et al., 2005; CHRISTINA et al., 2011; MA et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da água sobre a distribuição das raízes finas até a máxima profundidade em pomares de laranja estabelecidos num solo profundo. As hipóteses do trabalho são: 1) a suplementação hídrica por gotejamento reduz a biomassa total de raízes finas e altera as distribuições espaciais, com aumento da densidade de raízes finas próximas aos gotejadores e diminuindo a densidade na entrelinha, bem como em camadas profundas do solo e 2) que os traços morfológicos radiculares (diâmetro, comprimento radicular específico e área radicular específica) são influenciados pela irrigação e pela profundidade do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Classificação botânica e histórico da cultura

A laranjeira (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) é uma dicotiledônea pertencente à família Rutaceae e gênero *Citrus*, originários do Sudeste do Continente Asiático. Chegou nas Américas trazida provavelmente por Colombo, em 1493 (SOOST & CAMERON, 1975).

No Brasil, as primeiras sementes de citros foram trazidas pelos portugueses, no começo da colonização (HASSE, 1987). Encontrando aqui melhores condições para vegetar e produzir do que nas próprias regiões de origem, as plantas cítricas se expandiram para todo o país (DONADIO et al., 2005).

Atualmente as plantas cítricas são cultivadas em uma ampla faixa ao redor do mundo, compreendidas entre os paralelos 44° N e 41° S (AGUSTI, 2000). No entanto os principais países produtores concentram-se em regiões subtropicais, em latitudes superiores a 20° N e 20° S (DONADIO et al., 2005).

2.2. Importância econômica

A citricultura no Brasil ocupa lugar de destaque entre as culturas agrícolas, tanto pelo valor de exportação, como pela importância social, já que propicia a geração de grande número de empregos.

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, com produção de 19.053.000 toneladas de laranja em 2012, seguido dos Estados Unidos com 8.140.000 e da China

com 6.600.000. E é também o maior exportador de suco concentrado de laranja, o equivalente à 60% da produção mundial desta commodity (AGRIANUAL, 2013).

A área colhida em 2012 foi de 782.041 ha, sendo que desta área, 525.514 ha estavam no estado de São Paulo, principal produtor do país. A produção de suco de laranja na safra 2011/2012 foi de 1.260.000 toneladas, sendo que em São Paulo se produz mais de 80% da laranja destinada à indústria (AGRIANUAL, 2013).

2.3. Características da copa e porta-enxerto

As plantas cítricas utilizadas em plantios comerciais como variedades copas estão divididas em seis grupos: laranjas, tangerinas, limões, limas ácidas, pomelos e outros de menor importância. O grupo das laranjas doces apresentam maior importância econômica, seguido pelos limões e limas ácidas (PIO et al., 2005)

A variedade copa ‘Valência’ ocupa lugar de destaque entre os produtores, especialmente pela boa produtividade e tamanho de fruto e contribui com aproximadamente 21% do total de laranjeiras existentes no estado de São Paulo. É uma variedade de maturação tardia e pode ser utilizada tanto para o mercado de fruto *in natura* quanto para a indústria de suco (PIO et al., 2005).

Atualmente os pomares comerciais de citros são propagados com mudas oriundas de enxertia. Desta forma as plantas usadas como porta-enxerto tem papel extremamente importante no sucesso da cultura. O uso de porta-enxertos no cultivo comercial de citros permitiu superar fatores abióticos e bióticos e obter ganhos de produtividade, mas foi também responsável por grandes adversidades da citricultura, como gomose, tristeza, declínio e morte súbita dos citros, devido ao uso em grande escala de materiais genéticos semelhantes (POMPEU JUNIOR, 2005).

O limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck) é o porta-enxerto mais utilizado no Brasil, com uma participação de 39,8 % das mudas produzidas. Apresenta tolerância à tristeza dos citros, boa tolerância à seca, facilidade na obtenção de sementes, grande vigor antes e depois da enxertia, bom pegamento das mudas, rápido crescimento das plantas, produção precoce, confere alta produtividade, compatibilidade com todas as variedades copas, média resistência ao frio, bom comportamento em solos arenosos, média resistência às gomoses, mas é suscetível à nematóides e ao declínio dos citros (POMPEU JUNIOR, 2005).

O desenvolvimento radicular ocorre em fluxos, surgindo muitas raízes simultaneamente, cujo crescimento pode ser interrompido por mecanismos fisiológicos, acionados por fatores ambientais ou práticas culturais. No entanto, pode ser reiniciado no mesmo ponto de paralização (CASTRO NETO, 2013). O limoeiro ‘Cravo’ possui sistema radicular vigoroso e bem desenvolvido, entretanto, seu desenvolvimento depende de fatores ambientais e de solo (POMPEU JUNIOR, 2005).

2.4. Relações hídricas

Dentre os fatores relacionados ao desenvolvimento e produção das plantas cítricas a disponibilidade hídrica é um dos fatores mais relevantes. Em geral, a frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola (DUENHAS, 2005).

A utilização de irrigação em pomares de citros vem apresentando grande aumento, devido aos bons resultados na elevação da produtividade dos pomares, melhoria na qualidade dos frutos e a possibilidade de produção fora da época de safra (DUENHAS, 2005). Essa demanda gera a necessidade de estudos envolvendo a condição hídrica das plantas cítricas e de todos os processos que envolvem o uso da água.

O suprimento de água para uma cultura resulta de interações no sistema solo-planta-atmosfera. As interações entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e interligado, de forma que a condição hídrica dependerá sempre da combinação desses três fatores (SANTOS & CARLESSO, 1998). Qualquer planejamento e operação de um projeto de irrigação, usando a água de maneira eficiente, requerem conhecimentos das inter-relações entre esses componentes (SALASSIER et al., 2009).

Segundo Carlesso (1995) o suprimento de água às plantas é determinado pela capacidade da cultura em utilizar a água do solo, enquanto a demanda da atmosfera está relacionada à combinação dos fatores meteorológicos ao interagir com o dossel das plantas.

A deficiência hídrica é um dos fatores ambientais mais importantes que afetam o crescimento e a produtividade dos citros. A condição hídrica das plantas está relacionada a processos fisiológicos vitais como transpiração, fotossíntese, respiração e conseqüentemente com o crescimento e produção (OLIVEIRA et al., 2005).

Os citros são árvores frutíferas sempre-verdes, ou seja, mantêm as folhas verdes e ativas fotossinteticamente durante todo o ano. No entanto a fotossíntese e outros processos fisiológicos variam de acordo com os fatores ambientais (MEDINA et al., 2005). Fatores que interferem na assimilação de CO₂ durante o desenvolvimento dos frutos, como a deficiência hídrica, refletem significativamente na produtividade e qualidade dos frutos.

A redução na atividade fotossintética pela redução na assimilação de CO₂ são indicadores de déficit hídrico (OLIVEIRA et al., 2002). Sendo assim, é importante obter informações sobre a assimilação de CO₂ e sobre a eficiência do uso da água durante este processo. Embora as taxas de fotossíntese em citros sejam menores que muitas espécies C3, a eficiência no uso da água nesse grupo é considerada alta (MEDINA et al., 1999).

O estudo das trocas gasosas é uma das formas mais utilizadas para estudar a fisiologia dos órgãos fotossintéticos e estimar o crescimento e produção vegetal, visto que, cerca de 95% da fitomassa seca das plantas é constituída de compostos de carbono fixados fotossinteticamente (MEDINA et al., 2005).

Ainda segundo Medina et al. (2005), cerca de 50 a 90% da massa fresca de tecido vegetal consiste em água. A cada dia, as folhas transpiram uma quantidade de água muitas vezes superior a sua massa fresca. A modulação da absorção de água, seu papel no crescimento e suas perdas pela transpiração constituem a principal resposta da planta ao ambiente.

As relações hídricas da planta cítrica tanto em condições subtropicais como em tropicais são semelhantes. Entretanto, em virtude das condições ambientais mais irregulares em climas tropicais, em que não há definição clara das estações, as fases fenológicas do desenvolvimento da planta ficam sujeitas à ocorrência de estresse hídrico, sendo o período de crescimento do fruto uma das fases fenológicas mais sensíveis. Por outro lado, em condições tropicais, sem o uso de irrigação, o próprio estresse hídrico estimula o florescimento da planta (CASTRO NETO, 2013).

No entendimento das respostas das plantas à disponibilidade de água é fundamental quantificar a capacidade de armazenamento de água no solo e analisar os mecanismos de absorção de água pelas plantas (SANTOS & CARLESSO, 1998).

A redução no conteúdo de água no solo causa variação na distribuição e desenvolvimento radicular. Por outro lado, o volume de solo explorado pelo sistema

radicular é essencial para a efetiva absorção de água pelas raízes (LUDLOW & MUCHOW, 1990).

O déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular. Battie-Laclau e Laclau (2009) ao estudarem o sistema radicular da cana-de-açúcar em condições de sequeiro e irrigado, verificaram uma quantidade maior de raízes no sistema de sequeiro. A profundidade máxima do sistema radicular foi de 4,7 m no tratamento de sequeiro e 4,2 m no irrigado.

A tolerância à seca proporcionada pelo sistema radicular pode estar relacionada com a arquitetura e/ou a condutividade hidráulica das raízes. Essas características são importantes para que a planta extraia mais água do solo, mantendo alto o potencial de água na copa, a turgescência celular e maior eficiência fotossintética (MEDINA et al., 2005).

Para a citricultura em regiões tropicais é fundamental utilizar variedades que sejam adaptadas ou possam resistir a períodos de estresse hídrico. Desta forma, deve-se priorizar o uso de porta-enxertos cujo sistema radicular seja capaz de acessar a água armazenada nas camadas profundas do solo (CASTRO NETO, 2013).

2.5. Sistema radicular

Um sistema radicular bem desenvolvido é fundamental para o sucesso de um pomar, uma vez que as raízes atuam como estruturas de sustentação, de absorção de água e nutrientes e são produtoras de substâncias orgânicas complexas como citocininas, giberelinas, etileno e aminoácidos, que modificam seu próprio desenvolvimento e o da copa, além de servir como órgão de armazenamento de minerais, carboidratos e aminoácidos, disponibilizados em alguns momentos fenológicos das plantas cítricas (MEDINA et al., 2005).

A distribuição do sistema radicular dos citros, bem como de outras culturas, depende dos fatores genéticos das plantas, manejo do pomar e das características do solo. A planta cítrica normalmente forma uma raiz pivotante profunda, no entanto, nos pomares comerciais é pouco provável que isso ocorra, devido ao manuseio das mudas no viveiro e as operações de plantio no campo. Sendo assim, a raiz pivotante é substituída por raízes pioneiras de grande porte, que se ramificam aleatoriamente (KRIEDEMANN & BARRS, 1981).

A partir das raízes pioneiras originam-se as raízes laterais, algumas com hábito de crescimento mais vertical, o que permite a exploração de regiões mais profundas do solo (CASTLE et al., 1989).

As raízes fibrosas, consideradas mais importantes na absorção de água e nutrientes, se formam em pequenos tufo nas extremidades das pioneiras e tem o diâmetro de cerca de 1 mm até menos de 0,5 mm, formando uma manta de raízes finas alimentadoras (KRIEDEMANN & BARRS, 1981).

A presença da manta de raízes finas requer cuidados com o manejo do pomar, especialmente debaixo da copa, devendo ser superficiais e menos frequentes, uma vez que injúrias no sistema radicular podem reduzir a produtividade e a longevidade dos pomares (MEDINA et al., 2005).

Dependendo do porta-enxerto, as raízes de citros podem se desenvolver até seis metros de profundidade, embora a maior quantidade se encontre próxima à superfície do solo (NORDELO & TORRE, 1991). Entretanto, como já citado anteriormente, a profundidade do sistema radicular está relacionada com as características e condições dos solos.

O estudo da distribuição do sistema radicular das culturas constitui ferramenta importante na determinação das práticas de manejo como irrigação, aplicação de nutrientes e mesmo para fins de manejo dos solos, que repercute diretamente na distribuição das raízes, permitindo maior ou menor exploração desse solo (CARVALHO et al., 1999).

O crescimento lateral das raízes é promovido nas camadas superficiais do solo pelas operações de preparo do solo, aplicação de nutrientes em superfície e pelo uso de irrigação ou fertirrigação localizada (MMOLAWA & OR, 2000; VILLAS BÔAS et al., 2002). No entanto, o crescimento das raízes em profundidade parece ter uma correlação com a presença de água nas camadas mais profundas do solo, especialmente em ecossistemas onde há períodos sem chuva, uma vez que as camadas inferiores do solo costumam ter menores quantidades de nutrientes e pH desfavorável ao desenvolvimento das raízes (MCCULLEY et al., 2004).

Os modelos atuais para cálculos de necessidade de irrigação utilizam a profundidade efetiva das raízes até 1 m, considerando que as raízes presentes nas camadas mais profundas do solo são de pouca importância na absorção de água, pela pequena quantidade de raízes presentes nestas camadas. No entanto, estudos têm mostrado que a água presente no subsolo pode abastecer parte significativa das

necessidades das culturas em períodos de seca (DARDENALLI et al., 1997; BATTIE-LACLAU & LACLAU, 2009; MA et al., 2013).

Böhm (1979) constatou que as pesquisas com raízes estavam ainda na fase inicial da ciência, enfatizando que este fato se dava, basicamente, por causa da metodologia que em muitos casos é trabalhosa e com custos elevados. Hoje se pode dizer que não houve grande evolução neste sentido, havendo ainda poucos estudos do sistema radicular, sobretudo no que diz respeito à abordagem de raízes mais profundas.

Existem diversos trabalhos que estudaram a distribuição do sistema radicular de plantas cítricas, principalmente para fins de cálculos para irrigação. No entanto, a maioria dos trabalhos trata de profundidades até um metro, pois se considera que esta seja a profundidade efetiva das raízes de citros e da maioria das espécies cultivadas (NEVES et al., 2000; COELHO et al., 2002; CRUZ, et al., 2005; SOUZA, et al., 2008), porém estes estudos não investigaram o papel das raízes profundas sobre o estado hídrico das plantas.

Nepstad et al. (1994), ao estudarem o papel de raízes profundas nos ciclos hidrológicos e de carbono da floresta amazônica e de pastagens, observaram que a água do solo disponível para as plantas entre 2 e 8 metros de profundidade diminuiu 380 mm na floresta e 310 mm na pastagem degradada no período seco. Já nos 2 metros superiores do solo a diminuição foi de 130 mm e 110 mm, respectivamente. Desta forma, a água armazenada abaixo de 2 metros forneceu mais de 75% da água extraída do solo em ambos os ecossistemas.

Ainda segundo Nepstad et al. (1994), os modelos que relacionam atmosfera e vegetação para prever o efeito no clima, causado pelo desmatamento na Amazônia assumem a profundidade de raízes entre 1,3 e 2 metros em florestas e 0,6 metros em pastagens, o que seria uma subestimação da evapotranspiração em mais de 60%, em relação ao local e data do estudo. Importantes processos hidrológicos, que envolvem variação sazonal de armazenamento de água nas camadas profundas do solo, são deixados de fora dos modelos que ignoram as raízes profundas.

Segundo Battie-Laclau e Laclau (2009) as raízes profundas têm papel importante no abastecimento de água para as plantas, pois verificaram que aproximadamente 50% do total de raízes de cana-de-açúcar se encontravam abaixo de 1 metro de profundidade, demonstrando que a água existente nas camadas mais profundas do solo pode suprir as necessidades dessa cultura em períodos de seca.

Christina et al. (2011), estudando o sistema radicular de plantas de eucalipto em latossolo profundo, demonstraram que há uma tendência de sincronia entre o crescimento de parte aérea e do sistema radicular durante o desenvolvimento das plantas. O crescimento radicular vertical e o crescimento das plantas em altura seguiram padrão semelhante até 42 meses após o plantio, quando as raízes atingiram a profundidade do lençol freático. O estudo concluiu que a profundidade do sistema radicular foi de 85% da altura das plantas, que alcançaram em média 20 m. Independentemente da idade das plantas, 10% da massa total de raízes finas foram encontradas abaixo de 3 m de profundidade.

Em estudos do sistema radicular de plantas de citros com diferentes espaçamentos Kaufmann et al. (1972) e Whitney et al. (1991) concluíram que nos plantios mais adensados houve aumento da densidade de raízes finas, como resultado da sobreposição de árvores adjacentes. No entanto, Whitney et al. (1991) concluíram que o uso da água do solo até a profundidade de 1,65m não foi afetado pelo espaçamento e a produção foi maior para a maior densidade de plantas até o sétimo ano, a partir de então, o rendimento passou a ser maior no tratamento com menor densidade de plantas, demonstrando o efeito da competição nos cultivos mais adensados.

Estes trabalhos demonstram que o estudo da distribuição do sistema radicular pode ajudar na compreensão dos mecanismos de resposta das plantas à disponibilidade hídrica e as conseqüências na produção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização do experimento

O experimento foi instalado na Fazenda Rio Grande, no município de Itatinga - SP a 23° 17' 9" S e 48° 40' 55" O, a 632 m acima do nível do mar. O clima da região é do tipo subtropical úmido com estiagem no inverno. A precipitação média anual é de 1400 mm, com temperatura média de 20°C.

O solo é caracterizado como Neossolo quartzarênico, de acordo com a classificação da Embrapa (2006). Análises granulométricas e químicas do solo foram feitas no perfil até 8 m de profundidade (Tabela 1). A textura é uniforme (conteúdo de areia em torno de 87%) e o pH ácido (aproximadamente 4.5). A capacidade de troca catiônica ficou entre 34 e 13 mmolc kg⁻¹ na camada superior (0-25 cm) e mais profunda (700-800 cm) respectivamente. As análises foram realizadas pelo Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu – UNESP.

Periódicamente foram realizadas calagens, a fim de manter a saturação por bases à 70% na camada 0-40 cm do solo. Anualmente foram realizadas adubações com 180 kg de N ha⁻¹, 90 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 170 kg de K₂O ha⁻¹, aplicados mecanicamente na subcoba.

Tabela 1. Características físicas e químicas das camadas do solo de 0 – 800 cm de profundidade. Análise realizada em janeiro de 2014. Itatinga – SP.

Camada (cm)	Tamanho de partícula (%)			pH (H ₂ O)	MO (g kg ⁻¹)	P resina (mg kg ⁻¹)	Ca	Mg (mmol _c kg ⁻¹)	K	H + Al
	Argila	Silte	Areia							
0-25	7,8 ± 2,3	2,4 ± 1,6	89,8 ± 1,7	5,2 ± 0,3	10,3 ± 3,2	6,8 ± 2,9	14,3 ± 1,2	5,8 ± 0,4	0,5 ± 0,1	13,6 ± 3,9
25-50	8,1 ± 0,8	2,8 ± 2,2	89,1 ± 1,5	4,7 ± 0,7	8,0 ± 4,9	7,3 ± 6,7	8,0 ± 2,8	4,0 ± 0,9	0,3 ± 0,1	18,1 ± 8,1
50-100	9,7 ± 2,2	2,1 ± 0,6	88,2 ± 1,6	4,4 ± 0,1	6,3 ± 1,7	3,5 ± 0,6	3,6 ± 0,9	1,6 ± 0,2	0,2 ± 0	17,0 ± 3,3
100-200	11,3 ± 1,3	1,7 ± 0,4	87 ± 1,7	4,1 ± 0	5,6 ± 1,0	2,6 ± 0,2	2,1 ± 0,6	0,9 ± 0,3	0,2 ± 0,1	15,6 ± 0,4
200-300	11,7 ± 1,4	0,9 ± 0,4	87,3 ± 1,8	4,1 ± 0,1	4,3 ± 1,2	3,9 ± 0,9	2,7 ± 0	0,7 ± 0,3	0,1 ± 0	12,9 ± 0,7
300-400	11,7 ± 1,3	0,9 ± 0,5	87,4 ± 1,9	4,2 ± 0,1	4,4 ± 0,6	4,2 ± 0,4	2,7 ± 0	0,7 ± 0	0,1 ± 0	10,2 ± 0,6
400-500	12,7 ± 2,4	1,3 ± 0,2	86 ± 2,6	4,4 ± 0,1	4,7 ± 0,8	4,8 ± 0,1	2,4 ± 0,6	0,7 ± 0	0,1 ± 0	9,6 ± 0,8
500-600	14,4 ± 1,8	1,8 ± 0,4	83,8 ± 2,3	4,2 ± 0,1	4,1 ± 0,4	4,6 ± 1,3	2,8 ± 0	0,7 ± 0	0,1 ± 0	9,8 ± 0,3
600-700	13,8 ± 2,2	1,6 ± 0,5	84,6 ± 2,6	4,3 ± 0	5,1 ± 0	4,3 ± 1,5	2,5 ± 0,6	0,6 ± 0,1	0,1 ± 0	9,5 ± 0,2
700-800	13,9 ± 2,1	1,6 ± 0,4	84,5 ± 2,4	4,3 ± 0,1	5,5 ± 0,6	3,1 ± 0,7	3,1 ± 0,5	0,8 ± 0,2	0,2 ± 0	10,3 ± 0,4

3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados. O experimento foi constituído de dois tratamentos: 1- sequeiro; 2- irrigado e quatro repetições. Cada parcela foi constituída de 90 plantas, distribuídas em 6 linhas da cultura, duas linhas úteis e 4 linhas de bordadura (1080 m²). As avaliações foram realizadas em 12 plantas no centro da parcela, com pelo menos cinco plantas de bordadura nas extremidades de cada parcela.

As plantas de laranja eram da variedade 'Valência' enxertadas sobre limoeiro 'Cravo', com seis anos de idade, plantadas com espaçamento de 6,5 m na entrelinha e 2 m entre plantas na linha de plantio.

O sistema de irrigação utilizado foi do tipo gotejamento com uma linha de gotejadores em cada linha da cultura, sendo quatro gotejadores em cada planta, um emissor a cada 50 cm de linha.

As linhas de gotejadores foram fixadas próximo ao tronco das laranjeiras por meio de grampos de arame, de modo a evitar a movimentação das mangueiras e garantindo que a faixa de molhamento não sofresse alterações.

Nas parcelas mantidas em sequeiro foram utilizadas mangueiras sem gotejadores acopladas às mangueiras de gotejamento, de modo a suspender a irrigação nestas parcelas durante toda a condução do experimento.

A irrigação foi utilizada apenas em condições de baixa precipitação e o controle foi feito com base em medidas de tensiômetros instalados no talhão, sendo três repetições até 80 cm de profundidade. O sistema de irrigação era acionado sempre que os tensiômetros marcavam 40 cbar. No entanto, por se tratar de uma área comercial, o controle da irrigação foi realizado por um técnico da empresa, seguindo os padrões estabelecidos pela empresa.

A verificação da quantidade de água aplicada pelo sistema foi realizada por meio de instalação de recipientes com capacidade para 50 L, para onde foi canalizada a água fornecida por dois bicos gotejadores em cada recipiente. Foram instalados oito repetições, sendo dois recipientes em cada parcela experimental. A quantidade de água foi medida semanalmente e os dados extrapolados em mm. A água aplicada via irrigação foi equivalente a 45 mm de agosto a dezembro de 2012, 47 mm em todo o ano de 2013 e 60 mm de janeiro a maio de 2014. O que corresponde à 9,2 %, 3,1 % e 15% da precipitação

nestes períodos, respectivamente. Deve-se considerar que o estresse hídrico é utilizado na cultura da laranja para estimular o florescimento, quando a ocorrência de baixas temperaturas não é suficiente para proporcionar tal estímulo. No caso deste experimento o estresse hídrico foi utilizado para esse fim, nos períodos de agosto a setembro de 2012 e de abril a junho de 2013.

3.3. Estudo de raízes

Foi realizada avaliação da distribuição das raízes finas em relação à profundidade e distância do tronco, sendo amostradas em quatro diferentes distâncias do tronco (Figura 1). Foram realizadas avaliações nos dois tratamentos durante dois anos, sendo duas avaliações por ano (final de estação seca e final de estação chuvosa) e quatro pontos em cada parcela nas camadas 0-25, 25-50, 50-100 cm, totalizando 128 pontos (2 tratamentos x 2 anos x 2 amostragens/ano x 4 blocos x 4 pontos por parcela) amostrados durante o experimento até a profundidade de 1 m. Além de 1 metro de profundidade, as camadas profundas foram amostradas em dois pontos por parcela (o mais perto P1 e o mais longe das árvores P4), totalizando 64 pontos de amostragem de raízes profundas durante o experimento nas camadas 0-25, 25-50, 50-100, 100-150 e a cada 50 cm até 10 m de profundidade. Os pontos foram distribuídos em quatro plantas dentro da parcela, cada ponto numa posição diferente em relação ao tronco, aumentando a representatividade da amostragem.

A entrelinha da cultura era ocupada por plantas de *Brachiaria decumbens*, cuja biomassa de raízes finas foi avaliada por meio de coleta de raízes na posição 4 até a máxima profundidade, sendo utilizada a mesma amostragem de solo que para a biomassa de raízes da laranjeira.

As raízes finas foram avaliadas quanto à densidade de massa de raízes (DMR), densidade de comprimento radicular (DCR), índice de área radicular (IAR), quanto à distribuição no perfil do solo e distância do tronco. Com relação às características morfológicas das raízes finas foram avaliados o diâmetro médio, comprimento radicular específico e área radicular específica.

Além da biomassa de raízes finas foram realizadas coletas de raízes médias de laranjeira por meio de abertura de seis trincheiras até 1m de profundidade x 3 m de comprimento x 1 m de largura.

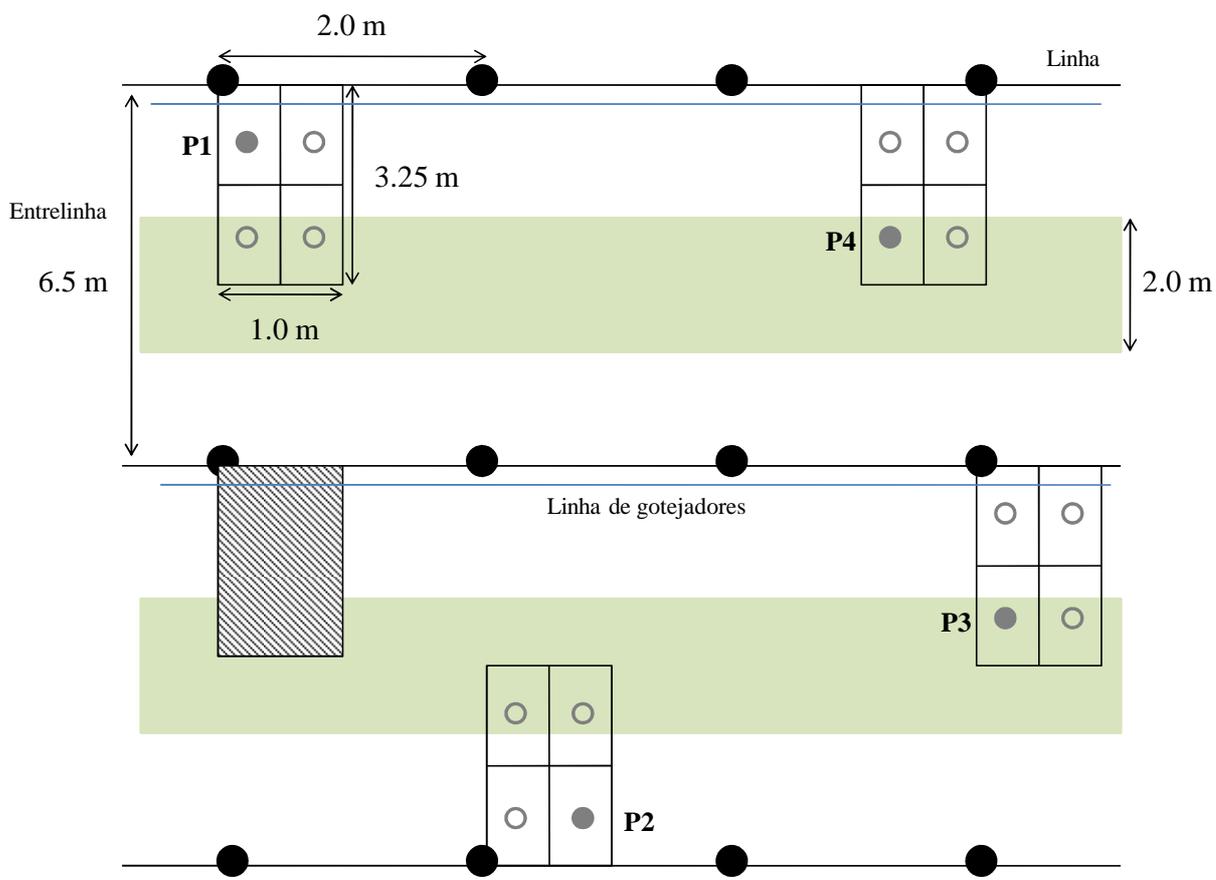


FIGURA 1. Amostragem para medições de densidade de raízes finas. As quatro posições de amostragem (P1, P2, P3 e P4) (círculos cinzas cheios) foram distribuídos em distâncias diferentes em 4 árvores (círculos pretos cheios) em cada parcela. O número total de pontos amostrados no estudo foram 128 (4 posições x 2 tratamentos x 4 blocos x 4 datas). As posições 2 e 3 foram amostradas até 1 m de profundidade e as posições 1 e 4 foram amostradas até 10 m de profundidade. A área sombreada em cada entrelinha indica a presença de braquiária, cujas raízes foram amostradas na posição 4. O retângulo rachurado indica a posição das trincheiras para amostragem das raízes médias. As linhas azuis indicam a posição da linha de gotejadores. Itatinga – SP.

O sistema radicular da laranjeira foi avaliado por meio de coletas de solo com um trado motorizado. O sistema é composto por um motor movido a gasolina 6,5 HP, acoplado a um redutor onde se encaixam hastes de ferro de 1 e/ou 3 m (Figura 2a). Na extremidade da haste é acoplada uma broca de 100 mm de diâmetro e 40 cm de altura, responsável pela coleta do solo (Figura 2b). As coletas foram realizadas até a profundidade máxima em que se encontraram raízes, sendo cavado 2 m além de onde foi encontrada a

última raiz. Em cada ponto de amostragem profunda, após 2 m de perfuração, foi instalado um cano de PVC de 150 mm de diâmetro e 2 m de profundidade no ponto de escavação, de modo a proteger a parede do orifício e evitar a queda de solo da superfície nas camadas inferiores, o que poderia causar contaminação das amostras com raízes superficiais (Figura 2a,b). Ainda assim, apenas os torrões de solo retirados da broca foram coletados, excluindo-se o solo da porção superior da broca, de modo a evitar contaminação das amostras com o solo das camadas superiores.



Figura 2. a) Coleta de solo com trado motorizado para amostragem de raízes finas; b) detalhe da broca de coleta de solo; c) separação de raízes finas para determinação da massa seca e área de raízes; d) detalhe das raízes de laranjeira e de braquiária. Itatinga – SP.

As amostras de solo de cada camada foram lavadas e as raízes finas (diâmetro <2 mm) foram separadas com auxílio de pinças (Figura 2c). As raízes vivas e mortas foram distinguidas com base em critérios de cor e resistência. Enquanto raízes vivas eram amarelas e flexíveis, raízes mortas eram cinzas / pretas e quebráveis. Foram estudadas apenas raízes vivas, as raízes mortas foram descartadas. Uma sub-amostra (10% em peso de cada amostra) foi lavada em peneiras com tamanho de malha de 300 mesh, para separar as raízes com comprimento inferior a 1 cm e o restante da amostra foi lavado em peneira

com tamanho de malha 500 mesh para separar somente as raízes maiores e iguais a um centímetro de comprimento. Assim, foram separados 100% das raízes maiores e iguais a 1 cm e 10% das raízes menores que 1 cm, estimando-se o total de raízes menores que 1 cm em toda a amostra.

A sub-amostra de raízes finas de cada camada foi digitalizada (400 dpi) e as imagens analisadas com o software WinRhizo 2.0 (Régent Instruments, QC, Canadá) para determinar o diâmetro médio das raízes, a área radicular específica e o comprimento radicular específico. Posteriormente, as raízes foram secas a 65° C durante 72 horas, para determinar a sua massa seca. A umidade do solo em cada camada foi medida a partir de 20 g de solo seco a 105° C durante 72 horas. As massas secas de raízes finas separadas em laboratório (mais a massa de raízes <1cm estimada em relação à sub-amostra) foram totalizados para cada camada de solo.

As raízes de braquiária coletadas na posição 4 foram separadas utilizando a mesma metodologia que para as raízes de laranjeira. Como as raízes das duas plantas estavam presentes na mesma amostra de solo, estas foram separadas de acordo com a coloração. As raízes de braquiária apresentam coloração branca, enquanto as raízes de laranjeira apresentam coloração amarelada (Figura 2c), além de odor característico.

A biomassa de raízes finas (g m^{-2}) foi estimada a partir da determinação da densidade das raízes (g kg^{-1} de solo) e da densidade aparente do solo, medida nas trincheiras abertas para instalação dos sensores de umidade do solo.

As raízes médias, com diâmetro de 2 – 10 mm, amostradas nas trincheiras abertas para este fim (Figura 3a), foram separadas no campo, limpas e secas em estufa de circulação forçada a 65°C até peso constante e os dados extrapolados em kg planta^{-1} .



Figura 3. a) Trincheira de 1 m de profundidade x 3 m de comprimento x 1 m de largura aberta para coleta de raízes médias de laranjeira ‘Valência’. b) Escavação para retirada de toco e raízes grossas de laranjeira ‘Valência’. Itatinga – SP, 2014.

Foram feitas também coletas de raízes grossas e toco de 12 plantas, sendo seis de cada tratamento, onde juntamente com a realização da biomassa aérea, foram feitas escavações para retirada dos tocos e raízes grossas das plantas amostradas (Figura 3b). Os dados de biomassa de raízes finas, raízes médias, raízes grossas e toco foram somados e extrapolados em toneladas ha^{-1} , a fim de obter dados de biomassa abaixo do solo.

3.4. Biomassa aérea

A circunferência do tronco a 25 cm de altura foi medida nas doze plantas úteis de cada parcela (48 plantas por tratamento). Doze plantas distribuídas ao longo do intervalo de circunferência em cada tratamento foram amostrados para estimar a biomassa aérea. As plantas foram separadas em quatro componentes: folhas, galhos finos (diâmetro <2 cm), galhos e tronco. Os compartimentos foram pesados no campo (peso fresco) (Figura 4a,b) e sub-amostras foram separadas e secas a $65^{\circ}C$ até peso constante. A partir do peso seco das sub-amostras o peso seco dos componentes de cada árvore foram calculados proporcionalmente. A biomassa foliar foi determinada para cada árvore amostrada pesando todas as folhas no campo e separando-se uma sub-amostra aleatória de 90 folhas distribuídas no dossel superior, médio e inferior das árvores. As sub-amostras de folhas foram armazenadas em caixas térmicas com gelo e, posteriormente, digitalizadas com medidor de área foliar LI-3000, para determinar a área foliar e feita a medição de massa fresca. As sub-amostras foram secas a $65^{\circ}C$ durante 48 h e, novamente, pesadas. A massa seca destas sub-amostras foram usados em conjunto com a medição de área foliar para o cálculo da área foliar específica. A massa seca das folhas foi calculado a partir da relação entre a massa fresca e massa seca das subamostras obtendo-se o Índice de área foliar (IAF) em cada tratamento.

A produção de frutos em toneladas ha^{-1} nas safras 2012, 2013 e 2014 foi avaliada a partir da colheita dos frutos de doze plantas em cada parcela, totalizando 48 plantas por tratamento.



Figura 4. a) Corte das laranjeiras, separação e determinação do peso fresco dos componentes para determinação de biomassa aérea (tronco, galhos, folhas e frutos); b) detalhe da separação das folhas da laranjeira ‘Valência’. Itatinga – SP, 2012.

3.5. Aspectos fisiológicos e estado hídrico

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas com analisador de CO₂ e vapor d’água por radiação infravermelha (“*Infra Red Gas Analyser – IRGA*”, modelo LI-6200, LI-COR).

Essas medidas foram realizadas no período das 9:00 às 11:00h em dia ensolarado em folhas completamente expandidas. As medidas foram feitas mensalmente, sendo doze repetições de cada tratamento.

A concentração de CO₂ e a luz utilizada durante as avaliações foram a presente no ambiente.

As características de trocas gasosas analisadas foram: taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i), transpiração (E) e eficiência do uso da água (A/E).

As características de trocas gasosas: taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol vapor d’água m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foram calculadas pelo programa de análise de dados do equipamento medidor de fotossíntese, que utiliza a equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer & Farquhar (1981).

A eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) foi determinada através da relação entre assimilação de CO₂ e taxa de transpiração e a eficiência de

carboxilação (A/C_i) foi determinada através da relação entre taxa de assimilação de CO_2 e concentração interna de CO_2 na folha.

O estado hídrico das folhas foi avaliado mensalmente a partir do potencial foliar de base e do potencial foliar mínimo, medidos com câmara de Scholander. As medidas de potencial foliar de base foram iniciadas às 5:00 horas e finalizadas até às 7:00 horas, enquanto que as medidas de potencial foliar mínimo foram iniciadas às 12:00 horas e finalizadas até às 14:00 horas.

A transpiração média diária em cada planta foi estimada por fluxo de seiva, por meio de pares de agulhas apropriadas para determinados fins (GRANIER, 1985). Os sensores foram instalados no xilema de 12 laranjeiras por tratamento logo acima do ponto de enxertia. As plantas foram selecionadas a partir do diâmetro do tronco, abrangendo diferentes diâmetros. A mensuração do fluxo de seiva foi dada em $mm\ dia^{-1}$.

3.6. Instalação dos equipamentos

A umidade do solo foi medida automaticamente a partir de sensores de umidade do solo (TDR Mintrase, Soil moisture USA), instalados nas profundidades de 15, 50, 100, 200, 350 e 500 cm no perfil do solo através da abertura de trincheiras (Figura 5a,b), sendo três repetições em cada profundidade nos dois tratamentos, totalizando 36 sensores.

As trincheiras foram abertas, separando-se o solo de cada camada para que este fosse devolvido na mesma ordem no fechamento da trincheira, de modo a não influenciar no crescimento das raízes. Após a instalação dos sensores as trincheiras foram imediatamente fechadas.

É importante salientar que as amostragens de solo para avaliação de biomassa de raízes não foram realizadas nas áreas de abertura das trincheiras, pois o revolvimento do solo e corte das raízes, ocorridos pela abertura das trincheiras, poderiam influenciar os resultados.



Figura 5. a) Sensores de umidade do solo (TDR Mintrase, Soil moisture USA), instalados no perfil do solo por meio da abertura de trincheiras no pomar de laranja ‘Valência’; b) detalhe do sensor TDR instalado a 5 m de profundidade. Itatinga – SP.

O monitoramento do fluxo de seiva, para estimar a transpiração das plantas, foi realizado por sensores confeccionados manualmente (Figura 6a,b).

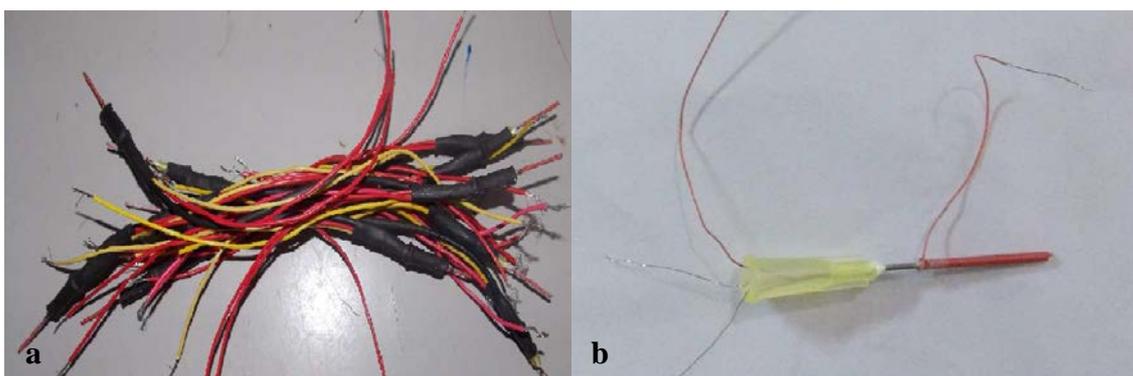


Figura 6. a) sensores de fluxo de seiva; b) detalhe do início do processo de confecção das agulhas que compõe os sensores de fluxo de seiva.

A metodologia utilizada para a mensuração do consumo de água consiste na inserção perpendicular ao fuste de um par de agulhas a dois centímetros de profundidade no xilema das árvores (Figura 7).

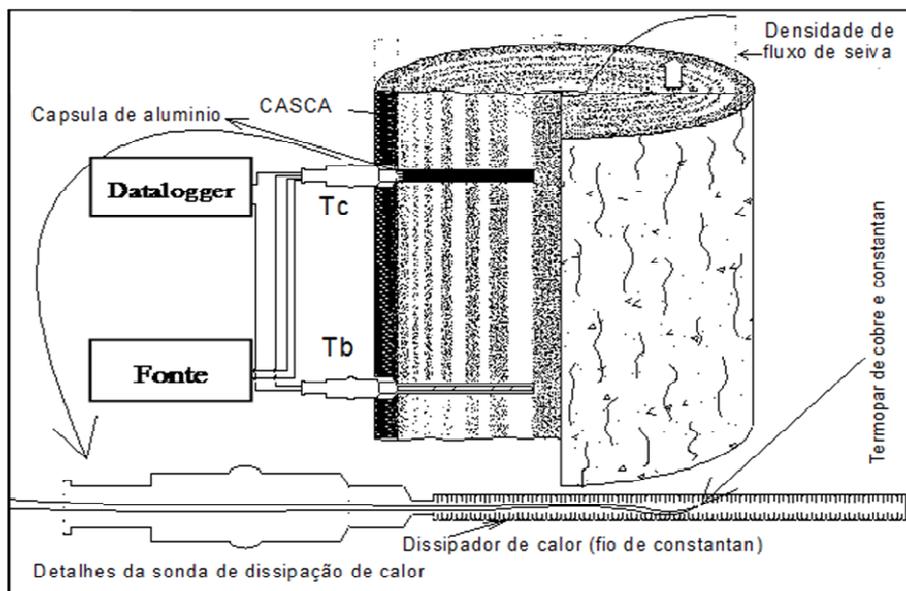


Figura 7. Ilustração da inserção dos sensores de fluxo de seiva no tronco da planta para estimativa do consumo de água pelo método de Granier (1985).

Segundo Granier (1985) a metodologia para mensuração do fluxo de seiva consiste na utilização de uma equação de calibração o qual se utiliza da relação entre a densidade do fluxo de seiva e o fator característico que varia de acordo com a espécie vegetal a ser testada. Granier (1985) calibrou o método em laboratório com seis plantas lenhosas, verificando que uma única equação de calibração pode ser utilizada para todas elas. Sendo assim, propôs que essa equação pode ser usada em qualquer planta lenhosa com diâmetro superior a 4 cm.

$$K = (\Delta TM - \Delta T) / \Delta T = 0,0206u^{0,8124}$$

A variável de ΔTM ($^{\circ}C$) indica a diferença máxima de temperatura entre os dois pontos determinados pelo sensor e a variável ΔT expressa a diferença atual da temperatura em graus $^{\circ}C$ e a variável 'u' a densidade do fluxo de seiva na unidade de $10^{-6} m.s^{-1}$.

Para a determinação do fluxo de seiva o autor recomenda a seguinte equação:

$$F = 118,99 \cdot 10^{-6} k^{1,231} AS$$

Sendo AS a área seccional do lenho condutor de seiva bruta, dada em m^2 , normalmente considerada a área ocupada pelo xilema, e K calcula-se através da equação anterior a partir das medidas térmicas registradas. A área condutora de seiva foi medida em discos de tronco amostrados, na altura onde os sensores de fluxo de seiva foram instalados, quando as plantas foram cortadas para a determinação da biomassa.

Os sensores de fluxo de seiva foram instalados no tronco de 24 plantas, 12 de cada tratamento, a uma altura de 25 cm do colo, logo acima do ponto de enxertia (Figura 8a). O sistema recebeu manutenção periódica e os dados eram coletados semanalmente.



Figura 8. a) sensores de fluxo de seiva instalados no tronco das laranjeiras; b) sistema de fornecimento de energia (baterias e fontes), coleta e armazenamento de dados (multiplexador e CR1000). Itatinga – SP.

O sistema de coleta e armazenamento de dados dos sensores de umidade TDR e de fluxo de seiva foi composto por três multiplexadores analógicos 16x32 canais, responsáveis pelo envio dos dados dos sensores para um *datalogger* modelo CR1000 4MB, onde ficavam armazenados os dados (Figura 8b). A coleta de dados era feita semanalmente através da conexão do *datalogger* com um computador de mão. O sistema era alimentado com energia fornecida pela rede local e contava com duas placas solares e duas baterias estacionárias, que atuavam no caso de falta de energia na rede.

3.7. Análise dos dados

Os dados de biomassa foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando houve significância as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de

probabilidade. Modelos de efeitos mistos foram usados para testar os efeitos da irrigação, profundidade do solo, época de amostragem, posição de amostragem e interação entre eles (como efeitos fixos) na densidade de raízes finas, diâmetro de raiz, comprimento radicular específico e área radicular específica. Os blocos foram considerados efeitos aleatórios. Os resíduos foram modelados por um modelo de correlação auto-regressivo de primeira ordem para explicar a correlação entre o nível de significância da profundidade. O nível de 5% foi utilizado em todas as análises ($P < 0,05$). Todos os dados foram processados utilizando o pacote de software SAS v.9.2 (SAS, Cary, NC, EUA).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições meteorológicas e umidade do solo

Os dados de precipitação estão dentro dos padrões climáticos da região, com alta precipitação no verão e redução das chuvas no inverno, para o ano de 2012 (Figura 9). Já no ano de 2013 observou-se menor quantidade de chuva no verão e índices pluviométricos acima do normal nos meses de junho e julho, com curta estação seca neste ano. Em 2014 as chuvas de verão foram muito abaixo do normal para a época, mantendo-se escassa até o mês de maio, quando se encerraram os trabalhos. Somando-se à baixa precipitação, as temperaturas médias em 2014 foram mais elevadas que nos anos anteriores, agravando a situação de seca.

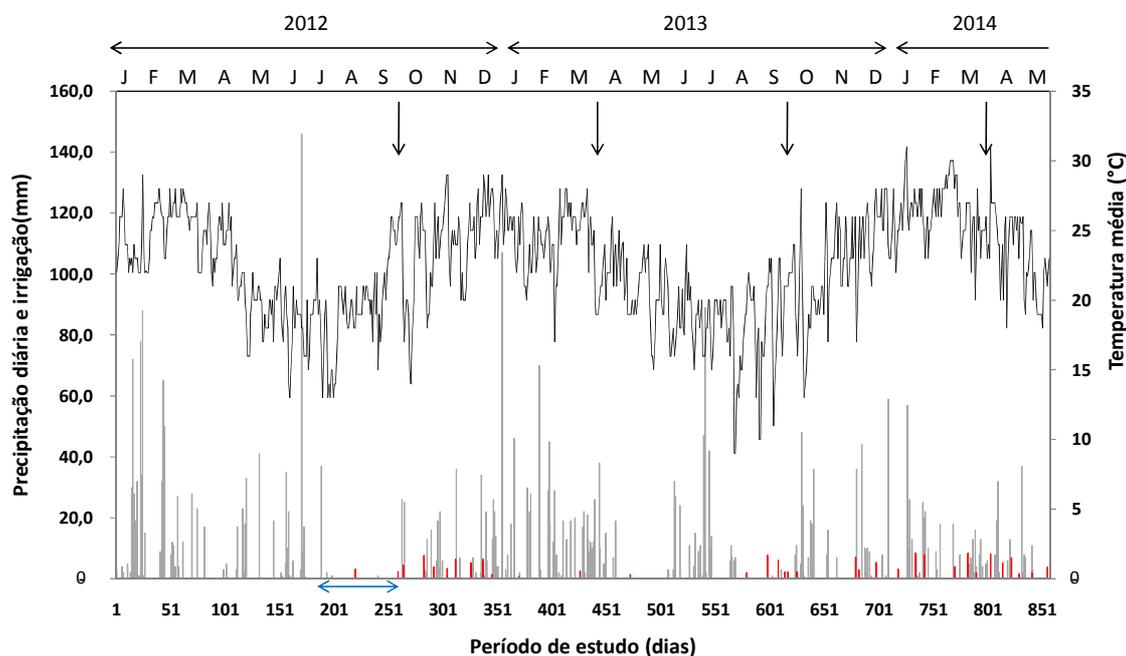


Figura 9. Precipitação (barras cinza) e irrigação (barras vermelhas) em mm e temperatura média em °C (linha preta) no período de janeiro de 2012 a maio de 2014 em pomar de laranja ‘Valência’. As setas pretas indicam as épocas de amostragem de raízes finas. A seta azul indica o período de estresse hídrico controlado para indução de florescimento. Itatinga – SP.

A umidade do solo foi monitorada desde fevereiro de 2013 e mostrou pequenas diferenças na quantidade de água no solo nos tratamentos irrigado e sequeiro, exceto no fim do período de avaliação, onde se observou que a partir de fevereiro de 2014 os sensores marcaram redução no balanço de água no solo, especialmente no tratamento de sequeiro (Figura 10).

Os resultados de umidade do solo, obtidos pelos sensores TDR, não foram utilizados para determinar da quantidade de água a ser aplicada via irrigação, mas apenas para monitoramento da umidade do solo.

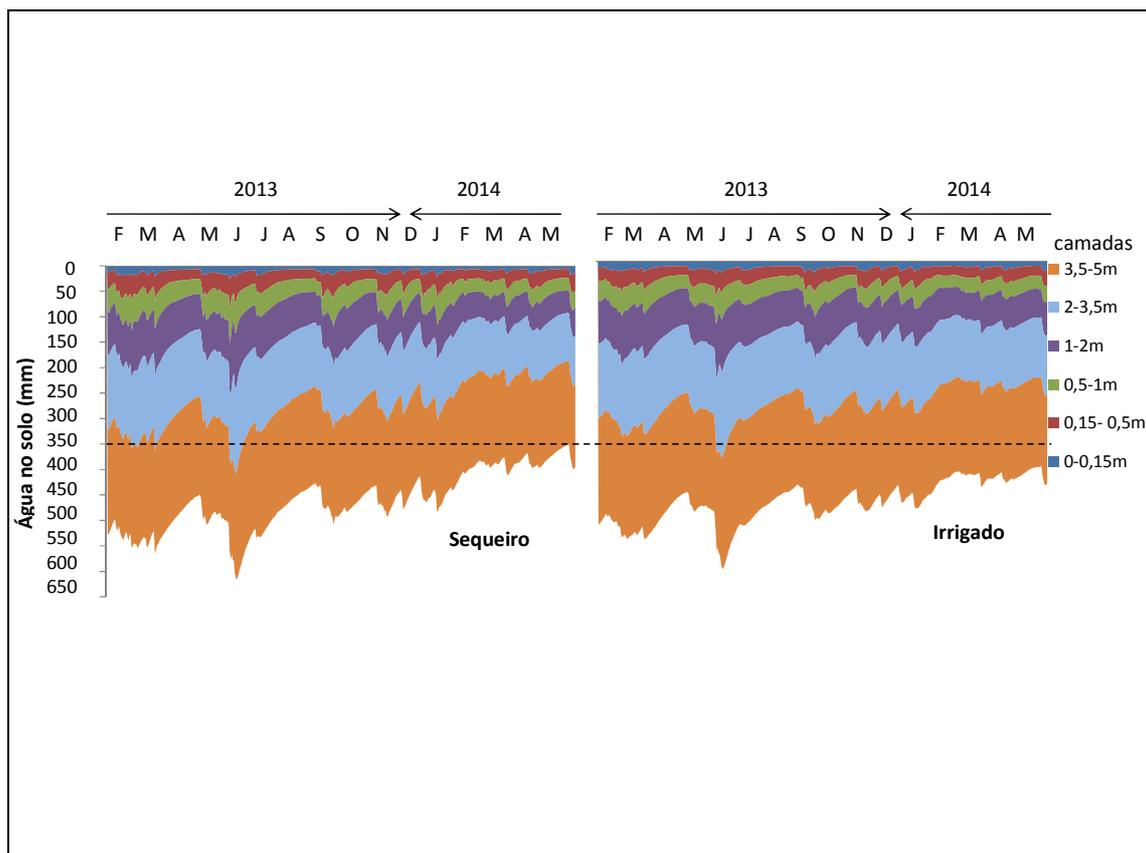


Figura 10. Balanço de água no solo (mm) nos tratamentos sequeiro e irrigado nas camadas do perfil do solo (0-0,15; 0,15-0,50; 0,50-1,0; 1,0-2,0; 2,0-3,5 e 3,5-5,0 m) nos meses de fevereiro de 2013 a maio de 2014 em pomar de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.

4.2. Distribuição de raízes finas

A densidade de massa de raízes (DMR) observada no estudo ficou entre 536 g m^{-2} no tratamento irrigado durante a estação seca de 2012 e 1210 g m^{-2} no tratamento de sequeiro na estação chuvosa de 2014 (Figura 11). O tratamento de sequeiro apresentou maior quantidade de raízes finas que o tratamento irrigado durante todo o período de estudo, exceto na estação seca de 2013. Isto ocorreu porque na estação seca de 2013 a quantidade de chuva (446 mm) foi superior ao que se espera para esta época, conforme pode ser observado na Figura 9.

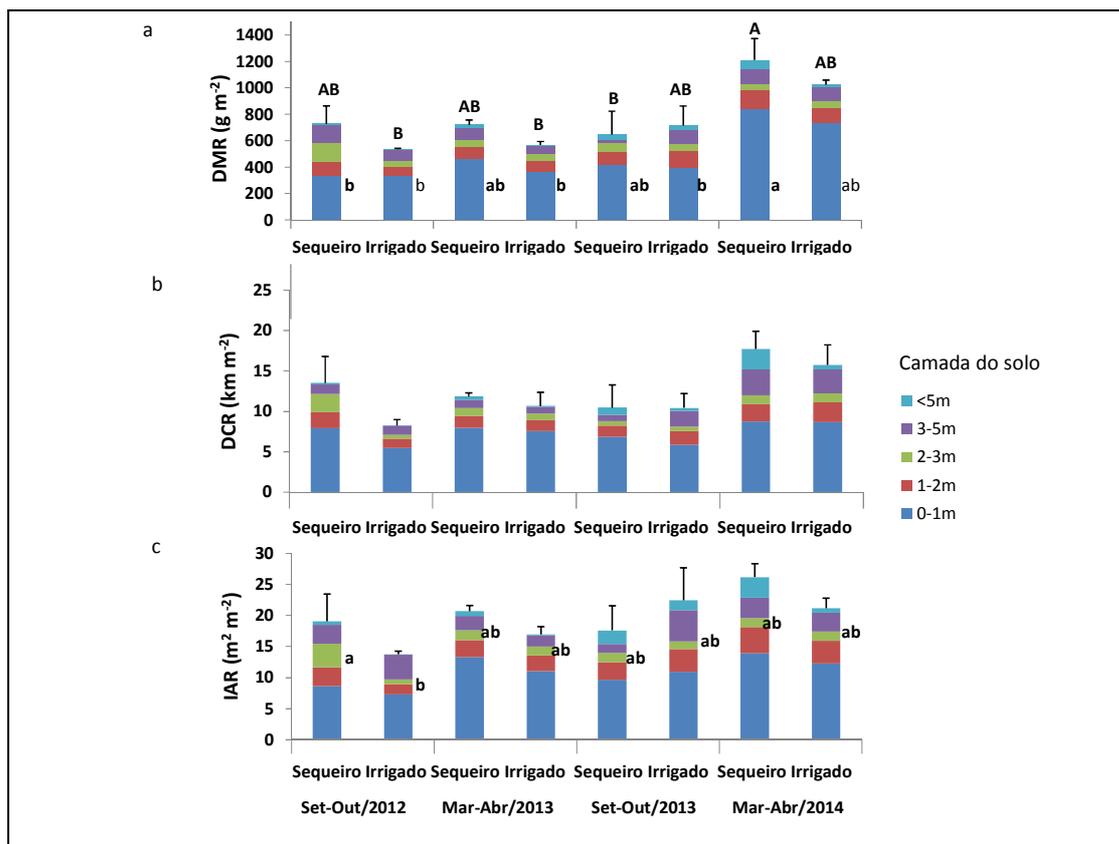


Figura 11. Densidade de massa de raízes (DMR) a), densidade de comprimento radicular (DCR) b) e índice de área radicular (IAR) c) em pomar de laranja ‘Valência’ em condições de sequeiro e irrigado, a partir de setembro de 2012 até abril de 2014. As épocas avaliadas representam o final da estação seca (setembro/outubro) e chuvosa (março/abril). Os erros padrões entre os blocos são indicados ($n = 4$). Letras diferentes maiúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos e as estações para o total de raízes. Letras diferentes minúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos e as estações para cada camada do solo. Itatinga – SP.

A avaliação feita em 2014 obteve quantidade de raízes finas superior às coletas anteriores, acima de 1000 g m^{-2} de solo, enquanto nas coletas anteriores os resultados ficaram entre 530 e 730 g m^{-2} . Este resultado pode ser uma resposta das plantas à seca registrada neste período na região (Figuras 9 e 10). Este comportamento das plantas em alocar recursos no sistema radicular em condições de déficit hídrico é conhecido pela pesquisa (BATTIE LACLAU E LACLAU, 2009; MA et al., 2013).

O aumento na quantidade de raízes na avaliação feita em 2014 se deu principalmente na camada até 1 m de profundidade, o que pode ser explicado como efeito da ocorrência de chuvas de baixa intensidade neste período (Figura 9) repondo a água apenas na camada superior do solo, o que favoreceu o crescimento de raízes nesta camada.

A proporção de DMR no primeiro metro da camada do solo variou de 333 g m⁻² a 841 g m⁻² com diferenças significativas entre os tratamentos e épocas de avaliação (Figura 11). A quantidade de raízes nesta camada do solo superou 50% do total de raízes finas em todos os tratamentos e épocas avaliadas, exceto no tratamento de sequeiro durante a estação seca de 2012, que alcançou 46% do total de raízes finas.

As raízes finas encontradas abaixo de 3 m de profundidade representaram de 10 a 20% do total de raízes. Não houve diferenças significativas entre os tratamentos nestas camadas, no entanto, a proporção de raízes finas nesta profundidade tendeu a ser superior no tratamento de sequeiro, com exceção da estação seca de 2013, em que o tratamento irrigado apresentou 19,5% do total de raízes finas nesta camada e o tratamento de sequeiro 10,44%.

A quantidade total de raízes foi influenciada tanto pela irrigação quanto pelas estações climáticas. De maneira geral o tratamento irrigado apresentou menor biomassa de raízes finas que o tratamento de sequeiro, evidenciando que as plantas tendem a desenvolver raízes em condições de deficiência hídrica.

Com relação aos resultados de densidade de comprimento radicular (DCR) observaram-se padrões semelhantes aos observados para DMR (Figura 11). Em geral os tratamentos com maior massa de raízes finas apresentaram também maior comprimento radicular, mostrando que houve pouca variação no diâmetro das raízes nos diferentes tratamentos e épocas avaliadas.

Observaram-se poucas variações nas proporções de DCR na camada até 1 m de profundidade, cujo menor percentual foi de 55,7% no tratamento irrigado na estação seca de 2013 e o maior de 70,6% na estação chuvosa do mesmo ano.

A proporção do comprimento radicular na camada abaixo de 5m foi sempre superior no tratamento de sequeiro que no irrigado, especialmente na avaliação realizada em 2014, em que a proporção nesta camada foi 14,3% do total de DCR no tratamento de sequeiro e 3,43% no irrigado.

Também nos dados de índice de área radicular (IAR) observou-se um padrão na distribuição dos dados semelhante aos observados nos dados de DMR e DCR com relação aos tratamentos e épocas de avaliação (Figura 11).

O percentual de IAR no primeiro 1 m do perfil do solo ficou entre 45% no tratamento de sequeiro durante a estação seca de 2012 e 65% no tratamento irrigado na estação chuvosa de 2013. Em geral, as proporções de área radicular foram maiores no

tratamento irrigado que no sequeiro nesta camada do solo, exceto na estação seca de 2013 quando esta condição se inverteu. Este resultado mostra tendência de maior desenvolvimento radicular na camada superior do solo no tratamento irrigado, fato que pode ser relacionado à maior quantidade de água na superfície devido ao uso de irrigação. O IAR é considerado um parâmetro morfológico útil para detectar mudanças na morfologia radicular devido ao tipo de solo (HACKE et al., 2000), irrigação e adubação (EWERS et al., 2000).

Houve diferença estatística entre os tratamentos e épocas de avaliação apenas na camada de 2 a 3 m de profundidade, em que o maior índice ocorreu no tratamento de sequeiro na estação seca de 2012 ($3,82 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) e o menor índice ocorreu no tratamento irrigado da mesma estação ($0,77 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$). Os demais índices tiveram valores intermediários (de 1,3 a $1,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$). Em geral os dados de IAR foram maiores no tratamento de sequeiro em relação ao irrigado, seguindo as tendências já mostradas nos dados de DMR e DCR.

Comparando os resultados médios de IAR e IAF (Tabela 3) observou-se que o IAR foi cinco vezes maior que IAF no tratamento de sequeiro e quatro vezes maior que o IAF no tratamento irrigado. Este fato demonstra que as plantas podem compensar uma deficiência hídrica com o aumento do sistema radicular. É comum encontrar trabalhos que fazem referência ao IAF, no entanto, são escassos os trabalhos mostrando o IAR.

A distribuição de raízes finas nas camadas do solo indica que não houve diferenças na densidade de raízes finas entre os tratamentos quando se considera as médias das estações avaliadas (Figura 12) e que as variações nas densidades e na distribuição destas raízes ocorrem em condições específicas de clima e localização dos emissores de irrigação, mas o efeito da localização dos emissores foi diluído devido às outras posições de amostragem. Avaliando a profundidade máxima alcançada pelas raízes, observou-se que em condições de sequeiro as raízes foram mais profundas (700-750 cm), cerca de 1 m a mais que o irrigado (600-650 cm). Segundo Hsiao (2000) em solos com conteúdo de água na capacidade de campo ou inferior, o movimento da água é lento e as raízes devem crescer nas partes mais umidas do solo para manter a absorção de água adequada, tendo o sistema radicular aprofundado e aumentando a densidade de raízes em profundidade.

Tanto a densidade de raízes finas quanto a profundidade máxima das raízes foram maiores quanto mais próxima do tronco e diminuiu substancialmente conforme aumentou a distância do tronco.

Constatou-se que as raízes finas de braquiária (Figura 12c) possuíam menores densidades que as raízes de laranjeira, mesmo na entrelinha. Estas raízes alcançaram a profundidade máxima de 350-400 cm.

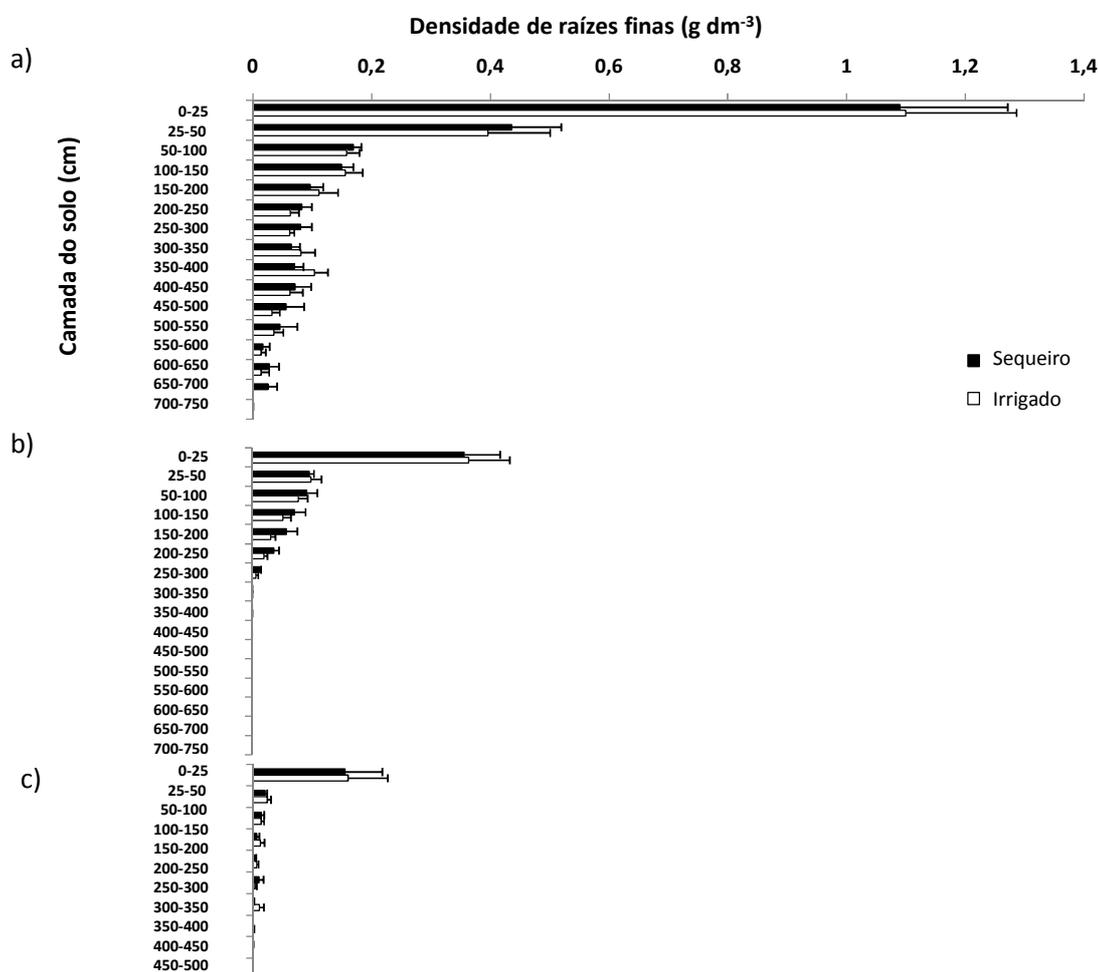


Figura 12. Distribuição das raízes finas (g dm^{-3}) até a máxima profundidade para os tratamentos sequeiro e irrigado em pomar de laranja 'Valência'. Médias dos períodos de setembro de 2012 a abril de 2014. a) Raízes de laranjeira amostradas na posição 1 (mais próximo do tronco); b) raízes de laranjeira amostradas na posição 4 (mais distante do tronco) e c) raízes de braquiária amostradas na entrelinha. Itatinga – SP.

As maiores diferenças de acúmulo de raízes entre os tratamentos aconteceram na estação seca de 2012 (Figura 13), em que 52% das raízes do tratamento de sequeiro estavam acumuladas até 100 cm de profundidade e 68% das raízes do tratamento irrigado estavam nesta camada.

Observam-se também variações entre a estação seca de 2012 e 2013, especialmente no acúmulo de raízes nas camadas abaixo de 400 cm. Nesta camada, na estação seca de 2012, os tratamentos de sequeiro e irrigado alcançavam mais de 95% do

total de raízes. Já na estação seca de 2013, ambos os tratamentos apresentaram 87% do total de raízes nestas camadas. Também na estação seca de 2013 as raízes alcançaram profundidades maiores, chegando a 600-650 cm no tratamento irrigado e 650-700 cm no tratamento de sequeiro.

Durante as estações chuvosas o acúmulo de raízes nas camadas do solo é semelhante nos dois anos de avaliação, com exceção do tratamento de sequeiro na avaliação de 2014, em que a partir de 2 m de profundidade ocorreram maiores proporções de raízes que nas amostragens anteriores. Novamente, o tratamento mantido em sequeiro apresentou maior profundidade de raízes, alcançando as camadas de 700-750 cm, enquanto o tratamento irrigado ficou em 600-650 cm.

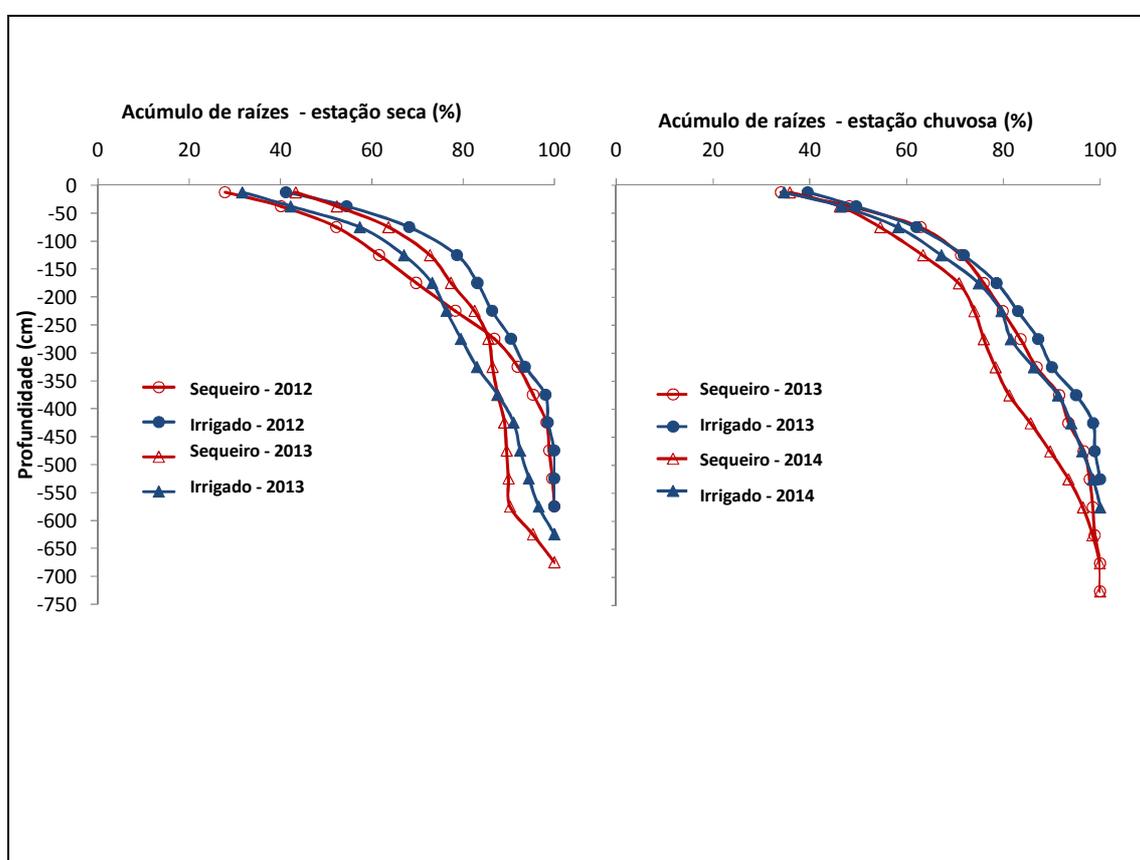


Figura 13. Proporção acumulada de massa seca de raízes finas até a máxima profundidade para os tratamentos sequeiro e irrigado, nas estações seca e chuvosa, no período de setembro de 2012 a abril de 2014 em pomar de laranja 'Valência'. Itatinga – SP.

O diâmetro médio de raiz, comprimento radicular específico e área radicular específica indicam as características das raízes finas com relação aos diferentes tratamentos, épocas de avaliação e profundidade do solo (Figura 14).

Com relação ao diâmetro das raízes, os resultados ficaram entre 0,3 mm e 0,85 mm. Existiu variação em relação à profundidade, ocorrendo tendência de aumento no diâmetro, conforme o aumento da profundidade durante a estação seca, no entanto, houve nova redução do diâmetro nas camadas mais profundas, abaixo de 5 m.

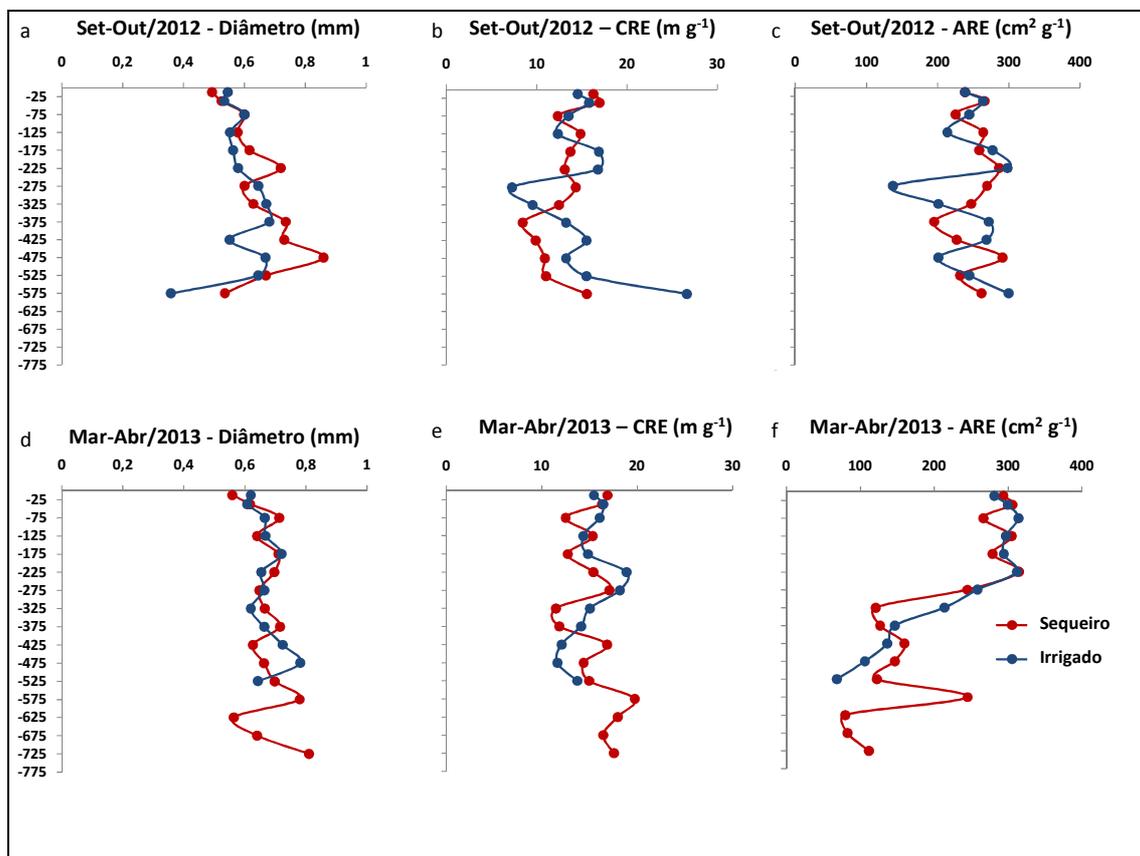


Figura 14. Diâmetro (a), comprimento radicular específico (CRE) (b), área radicular específica (ARE) (c) em pomar de laranja 'Valência' em condições de sequeiro e irrigado, no fim da estação seca (setembro/outubro) de 2012 e Diâmetro (d), CRE (e), ARE (f) em pomar de laranja 'Valência' em condições de sequeiro e irrigado, no fim da estação chuvosa (março/abril) de 2013. Itatinga – SP.

Os dados de comprimento radicular específico, na estação seca, variaram entre $7,26 m g^{-1}$ e $26,6 m g^{-1}$ no tratamento de sequeiro e entre $8,4 m g^{-1}$ e $16,9 m g^{-1}$ no tratamento irrigado. Para o comprimento radicular específico houve uma tendência inversa aos resultados de diâmetro, uma vez que o comprimento é dado em $m g^{-1}$ (Figura 14).

Para o diâmetro médio das raízes e comprimento radicular específico obtidos durante a estação chuvosa, ocorreram variações menores que na estação seca, tanto em relação aos tratamentos quanto à profundidade.

A variação do diâmetro em relação à profundidade foi de 0,36 mm a 0,85 mm no final do período seco e de 0,56 mm a 0,81 mm no final da estação chuvosa. O comprimento radicular específico médio nas duas épocas de amostragem foi de 15 m g^{-1} . A área radicular específica foi significativamente maior na estação seca ($265 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) do que na estação chuvosa ($200 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) (Figura 14).

O comprimento radicular apresentou variações sutis com relação aos tratamentos na estação seca, especialmente até os 2 m de profundidade. Já na estação chuvosa observou-se tendência de redução da área radicular específica, conforme o aumento da profundidade, havendo poucas variações entre os tratamentos. Ostonen et al. (2007) analisaram a importância do CRE como um parâmetro morfológico de raízes finas para detectar mudanças induzidas por fatores ambientais.

Modelos estatísticos de efeitos mistos mostraram que o diâmetro médio das raízes, comprimento radicular específico e área radicular específica não tiveram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 2). No entanto, foi observada interação significativa entre tratamento e época de amostragem para os dados de diâmetro.

Houve efeito significativo da profundidade e posição de amostragem sobre as características das raízes. O diâmetro médio de raízes finas foi de 0,61 mm na estação seca e 0,67 mm na estação das chuvas, demonstrando diferenças entre as épocas de amostragem.

A densidade de raízes finas (DRF) apresentou diferenças significativas entre profundidade e as posições da amostragem, além da interação entre época e posição e interação entre profundidade e posição (Tabela 2).

Em desacordo com a segunda hipótese deste trabalho, as características morfológicas das raízes finas (diâmetro, CRE e ARE) não foram afetados pelo uso da irrigação por gotejamento. Em concordância com os resultados obtidos neste trabalho, Herzog et al. (2014) não encontraram alterações significativas no comprimento radicular específico e diâmetro médio em raízes de *Quercus pubescens* e *Pinus sylvestris* antes de 9 anos de irrigação.

O diâmetro médio de raízes finas de citros em ambos os tratamentos foi de 0,63 mm. Em comparação com outras espécies de árvores, os resultados foram semelhantes ao diâmetro de raízes de *P. sylvestris* e maiores do que as raízes *Q. pubescens* (HERZOG et al., 2014). Roumet et al. (2008) observaram diâmetros entre 0,34 e 0,57 mm em plantas herbáceas.

Tabela 2. Valores de p para os efeitos de época, tratamento, profundidade e posição e a interação entre época e tratamento, tratamento e profundidade, época e profundidade, tratamento e posição, época e posição, profundidade e posição, do diâmetro médio das raízes, comprimento radicular específico (CRE), área radicular específica (ARE) e densidade de raízes finas (DRF) em pomar de laranja ‘Valência’ avaliadas no fim da estação seca de 2012 (setembro/outubro) e no fim da estação chuvosa de 2013 (março/abril). Efeitos significativos ($p < 0,05$) são indicados em negrito. Itatinga – SP.

	Diâmetro	CRE	ARE	DRF
Época	0,0023	0,0588	< 0,0001	0,3979
Tratamento	0,5433	0,0647	0,4769	0,7941
Profundidade	< 0,0001	< 0,0001	0,0004	< 0,0001
Posição	< 0,0001	0,0005	0,0217	< 0,0001
Época x Tratamento	0,0465	0,5359	0,0702	0,4003
Tratamento x Profundidade	0,3373	0,1492	0,8973	0,9722
Época x Profundidade	0,2055	0,4407	0,5251	0,3878
Tratamento x Posição	0,1587	0,6810	0,1769	0,5218
Época x Posição	0,4886	0,2085	0,4113	< 0,0001
Profundidade x Posição	0,1294	< 0,0001	0,0002	< 0,0001

4.3. Biomassa

O IAF no tratamento irrigado foi ligeiramente superior ($4,7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), enquanto que no tratamento de sequeiro o IAF foi de $4,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos neste parâmetro (Tabela 3).

A área foliar das plantas cítricas varia por diversos fatores, destacando-se o porta-enxerto. Em laranjeiras doces, dependendo do porta-enxerto, o IAF pode chegar a 11, mas geralmente apresentam valores menores (CASTRO NETO, 2013). Consoli et al. (2014) avaliando o desenvolvimento de plantas de laranjeiras com 4 anos de idade submetidas a restrição hídrica obtiveram valores de IAF de até $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$.

Em geral as plantas cítricas possuem considerável autossombreamento. O que representa grande desvantagem do ponto de vista fotossintético, uma vez que as folhas sombreadas assumem condição de dreno, competindo com a produção de frutos (CASTRO NETO, 2013).

Os resultados de biomassa de parte aérea indicam que a irrigação não influenciou no crescimento das plantas, uma vez que o sistema de irrigação foi implantado apenas em 2012, quando as plantas já estavam com seis anos de idade (Tabela 3).

A soma das biomassas de raízes finas, médias e grossas forneceram a biomassa abaixo do solo. Os valores médios de biomassa abaixo do solo foram semelhantes nos dois

tratamentos, 21,79 t ha⁻¹ e 21,91 t ha⁻¹ no tratamento de sequeiro e irrigado, respectivamente. Apesar das diferenças observadas nos dados referentes à biomassa de raízes finas entre os tratamentos, o efeito desse componente ficou diluído ao se somarem aos dados de raízes médias, grossas e tocos, que assim como a biomassa aérea, não foram, até o momento, influenciados pelo regime de irrigação.

A produção média de frutos por hectare não diferiu significativamente entre os tratamentos, no entanto, a produção foi inferior no tratamento de sequeiro nos três anos em que este parâmetro foi avaliado. A produção nas parcelas irrigadas foi 8,8%, 1,5% e 8,7% superior às parcelas não irrigadas em 2012, 2013 e 2014, respectivamente (Tabela 3).

A maior diferença na produção ocorreu na safra de 2012, quando as parcelas mantidas em sequeiro produziram 50,13 t ha⁻¹, enquanto nas parcelas irrigadas a produção foi de 54,49 t ha⁻¹, resultado semelhante ao encontrado por Duenhas et al. (2005), cujo acréscimo na produção pelo uso de irrigação foi de 8,26%.

As perdas de produtividade pela ocorrência de estresse hídrico podem ocorrer de diferentes formas, dependendo da fase fenológica da planta. Em caso de estresse hídrico no início da formação dos frutos, pode ocorrer queda de frutos e conseqüentemente queda na produtividade. Se o estresse hídrico ocorrer na fase final do desenvolvimento dos frutos, a queda na produtividade pode ocorrer devido à ocorrência de frutos menores (CASTRO NETO, 2013). Em ambos os casos a aplicação de água pode evitar essas perdas.

Aproximadamente 20% dos pomares de laranja no estado de São Paulo são irrigados (COELHO 2010; SALOMÃO et al. 2012). No entanto, os ganhos de produtividade com o uso de irrigação são muito influenciados pelo regime de chuvas e podem variar a cada ano.

A produtividade média dos pomares de laranja do estado de São Paulo é de aproximadamente 27 Mg ha⁻¹ (CONAB 2011; EMBRAPA 2011). No entanto, grandes produtores, com acesso a técnicas avançadas de produção, maiores investimentos e adensamento dos pomares, apresentam produtividades acima da média (CONAB 2011), o que pode ser observado nos resultados de produtividade obtidos neste trabalho.

Tabela 3. Diâmetro do tronco, índice de área foliar (IAF), biomassa seca de parte aérea, biomassa seca abaixo do solo e produção de frutos de laranjeira ‘Valência’ em 2012, 2013 e 2014 nos tratamentos de sequeiro e irrigado. Itatinga – SP.

Avaliações	Sequeiro	Irigado
Diâmetro de tronco (cm)	12,83 ± 1,8	12,71 ± 1,5
IAF (m ² m ⁻²)	4,39 ± 1,1	4,67 ± 1,3
Biomassa seca de parte aérea (t ha ⁻¹)	40,1 ± 1,5	35,6 ± 0,9
Biomassa seca abaixo do solo (t ha ⁻¹)	21,79 ± 4,8	21,91 ± 5,0
Produção de fruto 2012 (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	50,13 ± 12,8	54,49 ± 5,8
Produção de fruto 2013 (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	33,47 ± 3,3	33,98 ± 1,6
Produção de fruto 2014 (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	42,38 ± 2,5	46,15 ± 3,7

Os erros entre os blocos são indicados ($n=4$).

4.4. Aspectos fisiológicos e estado hídrico

O potencial hídrico foliar (Ψ_f) mostrou variações entre os tratamentos apenas nos períodos com maior deficiência hídrica (Figura 15). Em outubro e novembro de 2012 foram observados valores de -0,6 e -1,2 MPa às 6:00 h e de -2,3 e -2,6 MPa às 13:00 h, para o tratamento irrigado e de sequeiro, respectivamente.

Após o início da estação chuvosa (dezembro de 2012) os valores se mantiveram mais altos até fevereiro de 2014, havendo pouca variação entre os tratamentos neste período. A partir de março de 2014 tanto o potencial hídrico foliar de base quanto de potencial hídrico foliar mínimo voltaram a diminuir, especialmente no tratamento de sequeiro, em que os valores de potencial de base chegaram à -1,08 MPa em maio de 2014, enquanto no tratamento irrigado o valor nesta data foi de -0,51 MPa.

Com relação ao potencial mínimo, o tratamento de sequeiro apresentou valor mais baixo desde o início das medições, -2,66 MPa, também em maio de 2014. Nesta data, o tratamento irrigado apresentou valor de potencial mínimo de -2,35 MPa, o valor mais baixo obtido neste tratamento.

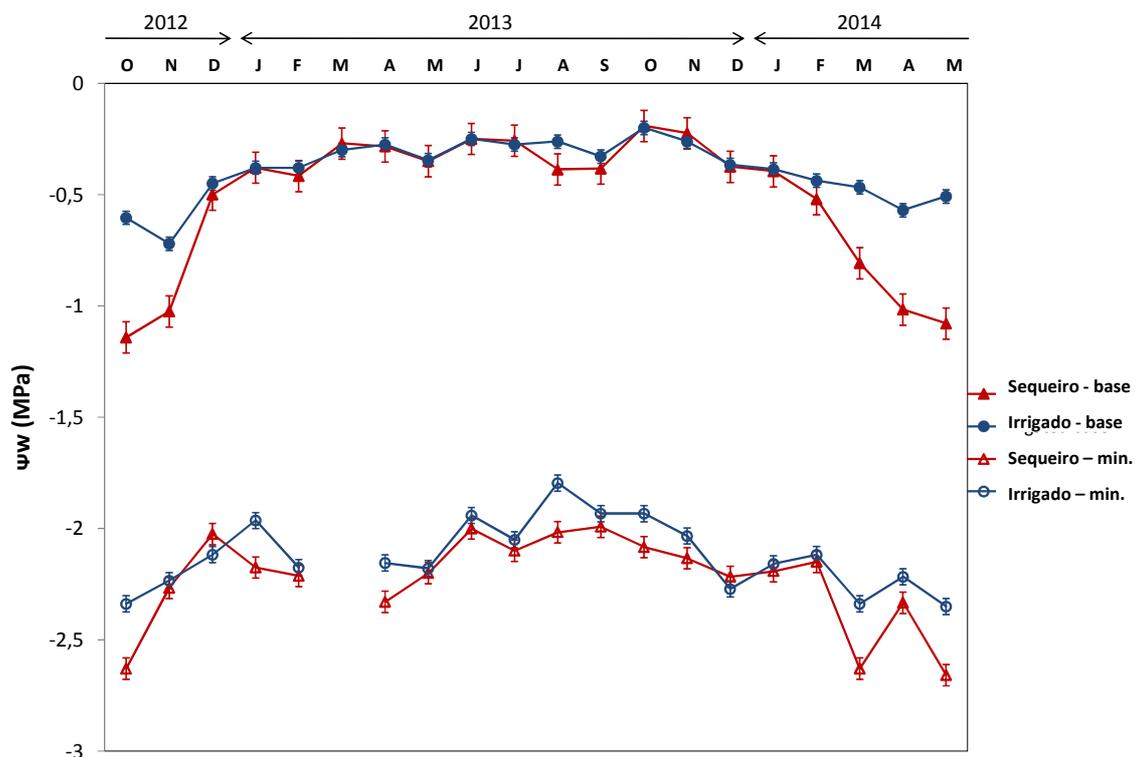


Figura 15. Potencial hídrico foliar de base e potencial hídrico foliar mínimo, medidos com Bomba de Scholander, para os tratamentos, sequeiro e irrigado, ao longo do período de outubro de 2012 a maio de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.

No tratamento mantido em sequeiro obteve-se potencial de base e mínimo menor que o irrigado nos meses mais secos, demonstrando o efeito da irrigação na condição hídrica das plantas. No entanto, os valores baixos de potencial às 6:00 horas e ainda mais baixos às 13:00 horas no período seco indicam que neste período as plantas passaram por estresse hídrico, pois mesmo as plantas irrigadas apresentaram índices baixos quando comparados com o período de chuva e com outros estudos sobre o assunto (MEDINA et al., 1999; MACHADO et al., 2006; CRUZ et al., 2007).

Em estudo realizado por Medina (1999) o potencial foliar para laranjeira ‘Valência’ medido durante a madrugada foi de aproximadamente -0,5MPa sem déficit hídrico (DH) e de -1,5 MPa com DH. Próximo ao meio dia o Ψ_f ficou em torno de -1,0 MPa sem DH e de -2,5 MPa com DH, resultados que se assemelham aos encontrados neste trabalho.

Deve-se salientar que durante a condução do experimento o estresse hídrico foi utilizado como indutor de florescimento, sendo suspensa a irrigação em determinados

períodos (Figura 9). Este fato ajuda a explicar a ocorrência de valores baixos de potencial hídrico foliar mesmo nas parcelas irrigadas, durante esses períodos. Esta é uma prática comum na cultura dos citros em áreas tropicais, quando as baixas temperaturas no inverno não são suficientes para induzir o florescimento.

Para a época chuvosa, apesar do potencial no meio do dia ser baixo, os resultados do período da manhã indicaram que as plantas se recuperaram durante a noite. Este fato ocorre devido às altas taxas de transpiração durante o dia, havendo restituição da água no período noturno, uma vez que havia grande quantidade de água no solo (Figuras 9 e 10).

As plantas progenitoras dos citros são árvores de sub-bosque, que apresentam caráter mesofílico, fato que ajuda a explicar algumas características apropriadas àquela situação mesmo em cultivares atuais (MEDINA et al., 2005).

De acordo com Kriedemann & Barrs (1981) as plantas cítricas apresentam alta taxa de transpiração, que sob alta demanda atmosférica, excede a capacidade de absorção de água. Este déficit resulta na redução do potencial de água nas folhas durante o dia, caracterizando comportamento anisofídrico. Outra característica herdada dos progenitores pelas plantas cítricas atuais, citada por estes autores, é o desenvolvimento foliar que atinge mais de 25 % da massa fresca da árvore e as folhas constituem a maior reserva de carboidratos da planta.

Com relação às trocas gasosas, tanto para a laranjeira irrigada como a de sequeiro houve redução acentuada na taxa de assimilação de CO₂ a partir do início das medições, setembro de 2012, iniciando uma recuperação com o começo da estação chuvosa, a partir de dezembro de 2012 (Figura 16). As medições voltaram a apresentar valores baixos na taxa de assimilação de carbono a partir de agosto de 2013 mantendo a condição de baixos índices até o final das medições. Com exceção dos meses de junho e dezembro de 2013, em que os valores da taxa de assimilação de carbono foram mais altos no tratamento irrigado, não houve diferenças entre os tratamentos neste parâmetro.

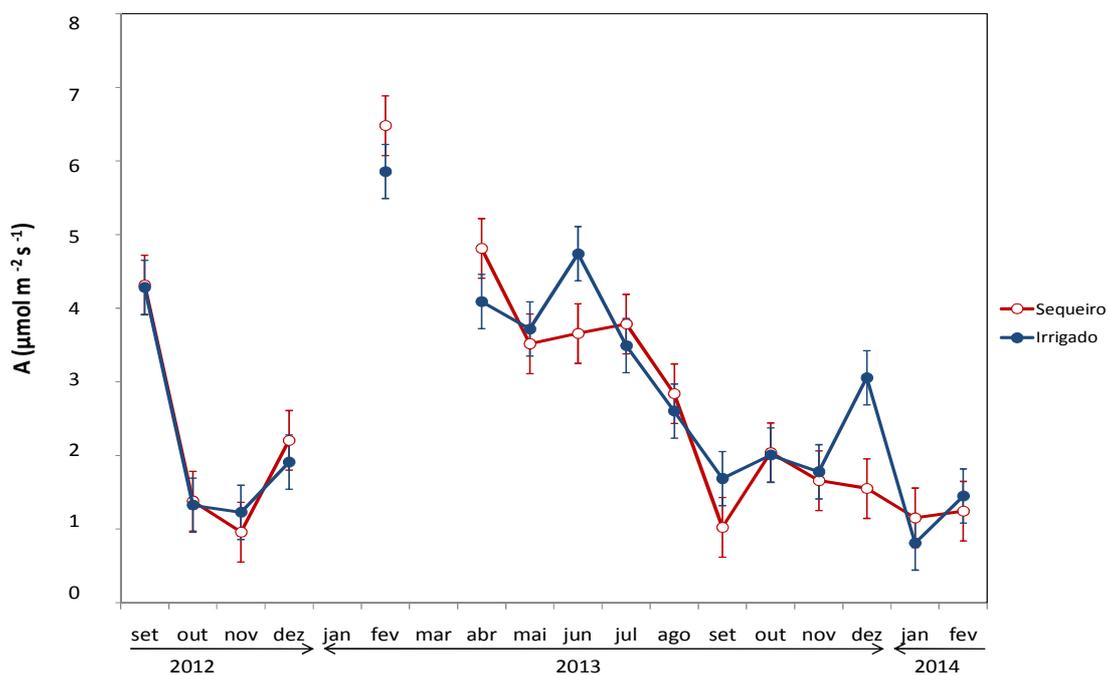


Figura 16. Taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nos tratamentos sequeiro e irrigado no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.

A condutância estomática (Figura 17) apresentou a mesma tendência observada nos resultados de assimilação de CO_2 e apontam para o fechamento estomático nos meses de seca em ambos os tratamentos, situação que se reverte nos períodos de chuva. Apesar da interação de diversos fatores que atuam no movimento estomático, ficou evidente o efeito da disponibilidade hídrica sobre esse parâmetro. Nota-se que a condutância estomática se manteve maior no tratamento irrigado em relação ao sequeiro, a partir de agosto de 2013 até o fim das medições, mostrando efeito positivo da irrigação nesta avaliação.

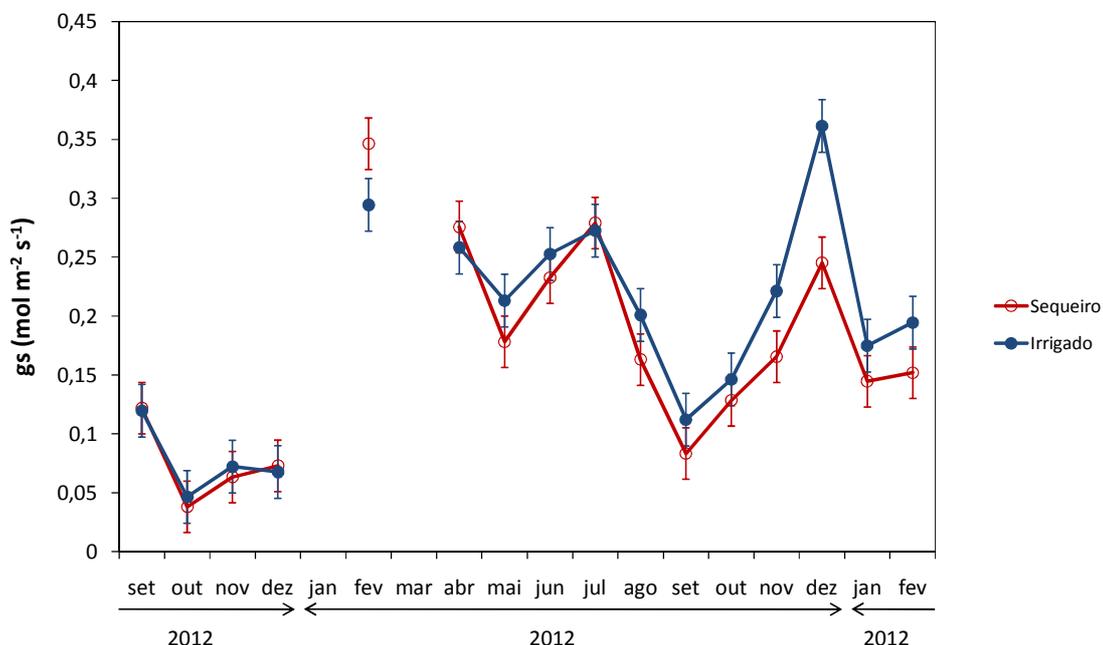


Figura 17. Condutância estomática (gs , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), nos tratamentos sequeiro e irrigado no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.

Os resultados de eficiência de carboxilação mostraram queda na atividade da enzima ribulose 1,5 - difosfato carboxilase (rubisco) nos meses de outubro e novembro de 2012, período seco, e em setembro de 2013, mês mais seco deste ano (Figura 18). No entanto, eficiência de carboxilação foi maior nos meses mais chuvosos e quentes, se assemelhando aos resultados obtidos para A.

Observa-se que os indicadores de trocas gasosas foram menores durante o verão de 2014 em comparação com o verão de 2013, em ambos os tratamentos. Este fato pode estar relacionado com o menor índice pluviométrico neste período, mas também pode ser relacionado com as altas temperaturas verificadas neste período, quando as temperaturas médias foram mais altas que a do verão anterior (Figura 9).

Para as plantas cítricas, o ponto de saturação luminosa varia de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, havendo consenso de que o ponto de saturação luminosa em citros é baixo e que apenas 30% da disponibilidade luminosa em dias de verão com céu limpo é

suficiente para que a planta atinja o seu potencial fotossintético máximo (CASTRO NETO, 2013).

O baixo ponto de saturação luminosa das plantas cítricas é considerado uma adaptação às condições de sombra (MEDINA et al., 2005). O uso prático dessa característica pode ser explorado mediante o emprego de espaçamentos mais adensados, sem que haja diminuição na produtividade, desde que não haja restrição hídrica (CASTRO NETO, 2013).

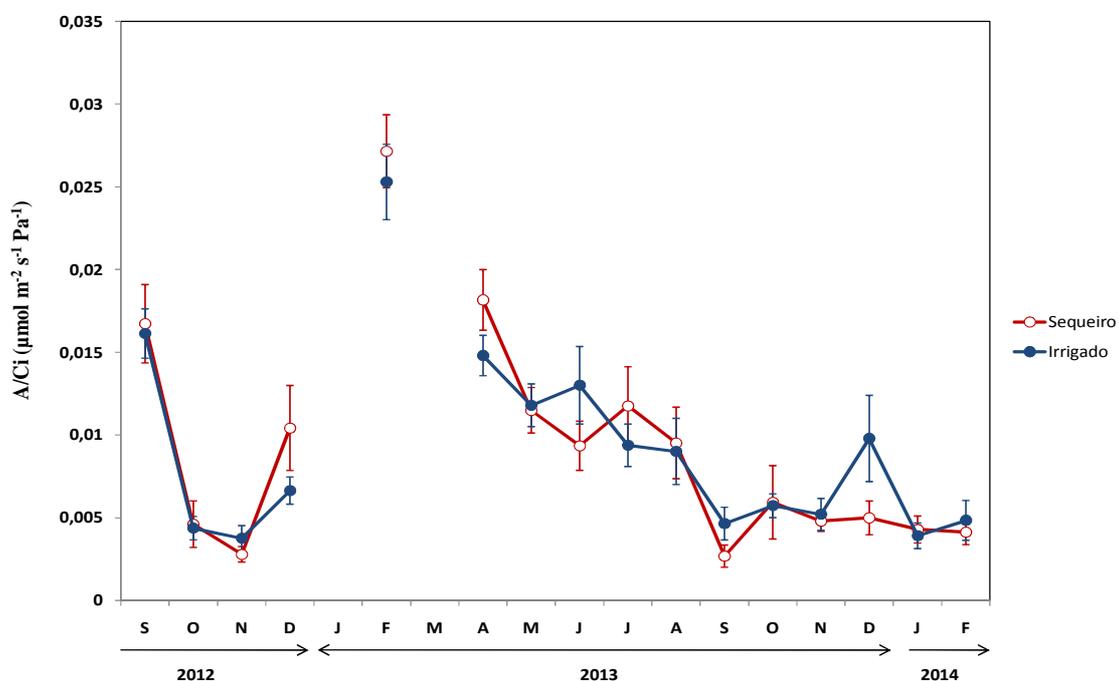


Figura 18. Eficiência de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$) nos tratamentos sequeiro e irrigado no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja 'Valência'. Itatinga – SP.

A transpiração foi maior nos meses com maior disponibilidade hídrica, alcançando o pico em dezembro de 2013 ($7,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no tratamento irrigado (Figura 19). Este resultado pode ser relacionado com a alta temperatura neste período e com a alta disponibilidade de água no solo (Figuras 9 e 10).

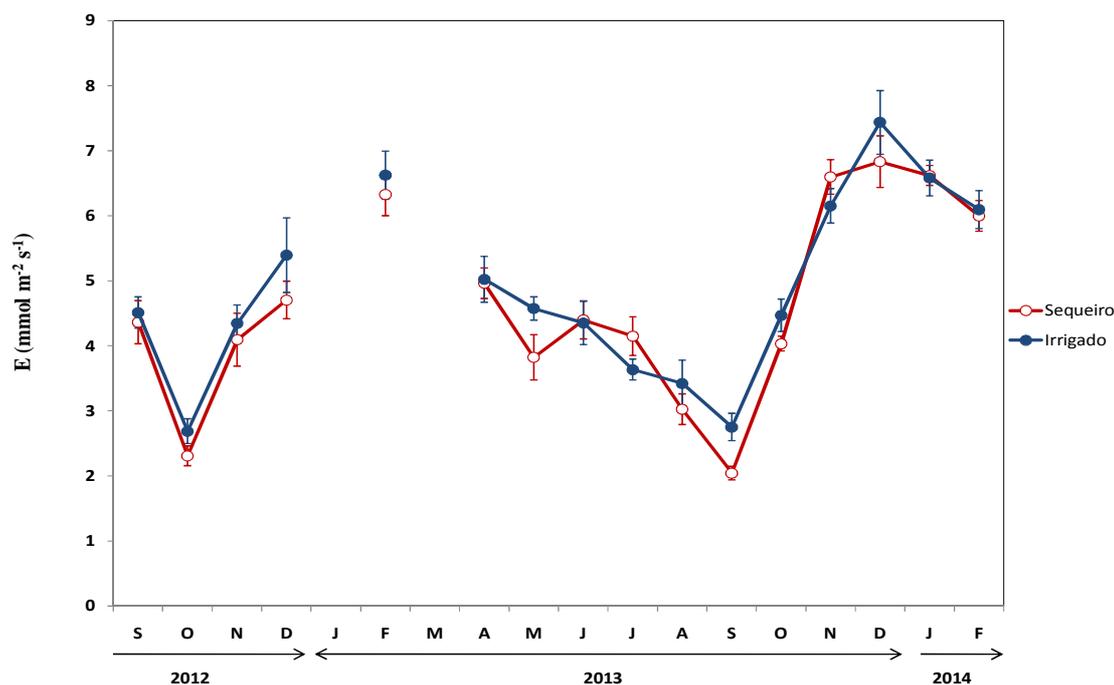


Figura 19. Transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) medida com LI- 6200, nos tratamentos sequeiro e irrigado no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja ‘Valência’. Itatinga – SP.

Deve-se considerar que as trocas gasosas são muito sensíveis às variações de umidade do ar, luminosidade e até a velocidade do vento, especialmente em condições de campo.

Em geral, as taxas de assimilação de CO_2 observadas neste trabalho estão de acordo com os dados observados em folhas de citros, onde em condições sem estresse e com luz saturante, varia entre 4 a $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (MEDINA & MACHADO, 1998).

Esses valores são obtidos com abertura estomática entre 0,1 e $0,3 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo que os valores máximos encontrados sob condições naturais raramente ultrapassam $0,4 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (MEDINA et al., 2005). No caso deste trabalho o valor máximo verificado em condições favoráveis de temperatura, umidade do solo e luminosidade foi de $0,35 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Já em condições de estresse hídrico os valores mínimos chegaram a $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Nos meses de novembro de 2013 a fevereiro de 2014 a taxa de transpiração foi bastante elevada, no entanto, as taxas de assimilação de CO_2 não acompanharam a mesma tendência. Portanto, neste período houve alta taxa de transpiração e baixa taxa de

fotossíntese, resultando em baixa eficiência do uso da água (Figura 20). As altas temperaturas aferidas neste período podem explicar este resultado, uma vez que os mecanismos de trocas gasosas são sensíveis à altas temperaturas.

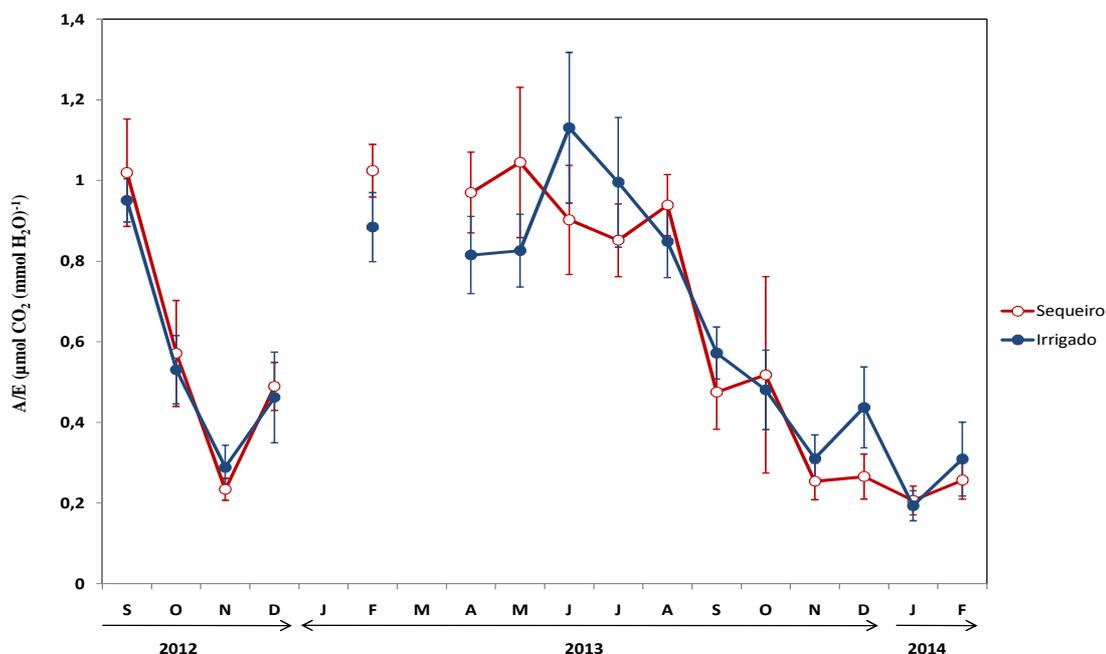


Figura 20. Eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{mol CO}_2$ ($\text{mmol H}_2\text{O}$) $^{-1}$) nos tratamentos sequeiro e irrigado, no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, em plantas de laranja 'Valência'. Itatinga – SP.

Os resultados de transpiração média diária, obtidos por medidas automáticas de fluxo de seiva, mostraram que não houve grandes variações entre os tratamentos neste parâmetro (Figura 21).

A menor média obtida nas medições de transpiração foi de 0,23 mm de água por dia para o tratamento irrigado no mês de julho de 2013 e a maior média diária de transpiração foi de 3,1 mm no mês de novembro de 2013, também no tratamento irrigado. As menores taxas de transpiração ocorreram nos meses mais frios de 2013 (maio a agosto) e nos meses de fevereiro a maio de 2014, devido aos baixos índices de precipitação. As médias mais altas de transpiração foram registradas no período de setembro de 2013 a fevereiro de 2014, em função das altas temperaturas e da maior disponibilidade hídrica neste período.

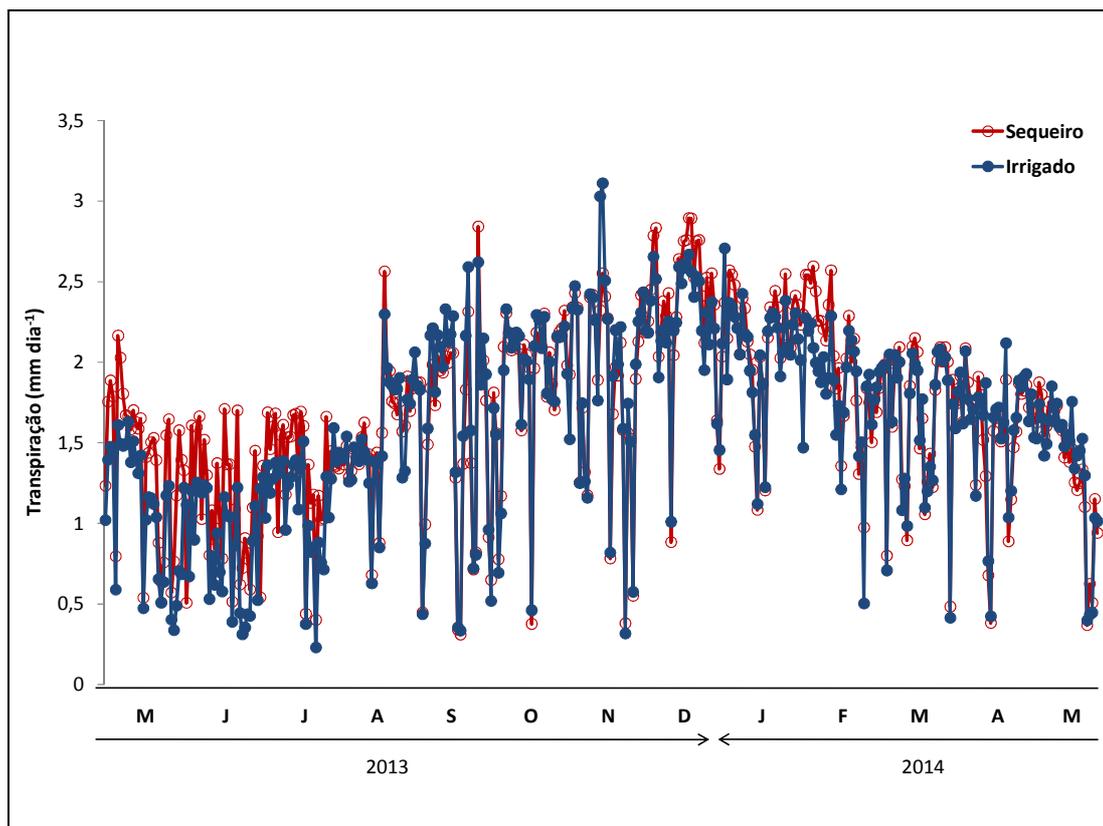


Figura 21. Transpiração média diária (mm dia^{-1}), estimada por fluxo de seiva, para os meses de maio de 2013 a maio de 2014 nos tratamentos sequeiro e irrigado, em plantas de laranja 'Valência'. Itatinga – SP.

Observou-se que as taxas de transpiração medidas com os sensores de fluxo de seiva indicaram maiores diferenças de transpiração entre as épocas do ano do que entre os tratamentos. Este fato pode ser explicado pela manutenção da reserva de água nas camadas mais profundas do solo ao longo de quase todo o período, com exceção dos meses de fevereiro a maio de 2014, quando o acúmulo de água no solo diminuiu, especialmente no tratamento de sequeiro (Figura 10).

Observou-se a presença de raízes em camadas profundas do solo (Figura 12), o que pode explicar a redução da água armazenada no subsolo no período cuja baixa precipitação prejudicou a recarga da reserva hídrica do solo. Desta forma, entende-se que a reserva de água nas camadas profundas do solo pode ser captada pelas plantas, quando houver presença de raízes, e suprir as necessidades mínimas de água nos períodos com baixa precipitação, concordando com outros trabalhos (NEPSTAD et al., 1994; DARDANELLI et al., 1997; OLIVEIRA et al., 2005; BLEBY et al., 2012).

Um balanço entre a quantidade de água que entrou no sistema e a quantidade de água transpirada pelas plantas de citros mostra que na maior parte do período a quantidade

de água disponível foi maior no tratamento irrigado (Figura 22). Pode-se observar também que apenas nos meses de agosto de 2013 e maio de 2014 o balanço hídrico foi negativo.

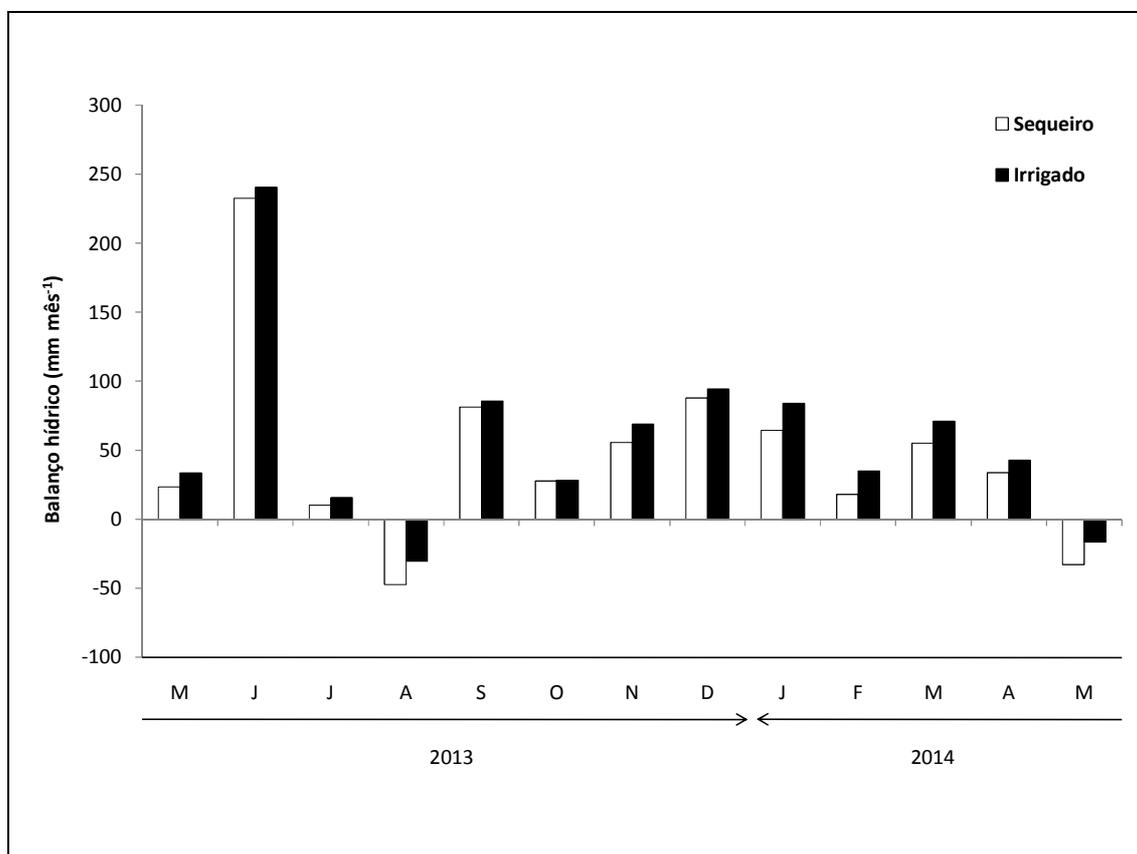


Figura 22. Balanço entre a quantidade de água que entrou no sistema e a quantidade de água transpirada pelas plantas de laranja 'Valência' nos tratamentos sequeiro (precipitação - transpiração) e irrigado [(precipitação + irrigação) - transpiração] no período de maio de 2013 a maio de 2014. Itatinga - SP.

Não é possível fazer uma correlação direta entre o balanço hídrico apresentado na figura 22 e a condição hídrica das plantas, uma vez que é necessário considerar o estoque de água no solo e as perdas por evaporação e transpiração das plantas de braquiária presentes na entrelinha. No entanto, estes resultados podem indicar se a água utilizada pela cultura foi repostada pela chuva ou pela aplicação via irrigação.

O balanço desta equação em todo o período foi positivo em ambos os tratamentos (610 mm no tratamento de sequeiro e 753 mm no irrigado), mas houve tendência de redução na quantidade de água no solo, conforme pode ser observado também na figura 8. Isso ocorreu devido aos baixos índices pluviométricos ocorridos no final de 2013 e início de 2014, período em que normalmente ocorrem chuvas de grande intensidade.

Apesar do balanço hídrico positivo, os resultados de potencial hídrico foliar (Figura 15), indicaram que as plantas mantidas em sequeiro passaram por estresse hídrico nos meses de março, abril e maio de 2014. Isto ocorre porque nem toda a água que entra no sistema fica disponível para as plantas. Parte da água reabastece o lençol freático e os mananciais ou fica retida pelo solo. Além disso, a distribuição das chuvas ao longo do tempo é fator chave para a condição hídrica das plantas. Portanto, o uso de irrigação se faz importante e, por vezes, até essencial, mesmo em regiões com altos índices pluviométricos, mas que tem as chuvas concentradas em determinada época do ano.

5. CONSIDERAÇÕES

O número de pomares de citros irrigados tem aumentado a cada ano, no entanto, existe a necessidade de melhorar a qualidade da aplicação dos recursos hídricos, uma vez que as áreas irrigadas são extensas e muitas vezes os sistemas de irrigação não suprem as demandas hídricas necessárias para potencializar a produção desses pomares. Desta forma, grandes recursos financeiros e hídricos são gastos e o resultado muitas vezes não é satisfatório.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e nas condições em que o trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

- A distribuição vertical das raízes finas de laranjeira ‘Valência’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ foi influenciada pela irrigação por gotejamento, que diminuiu a profundidade máxima do sistema radicular;

- a biomassa total de raízes finas diminuiu com o uso da irrigação;

- as características morfológicas das raízes não foram alteradas pelo uso de irrigação, mas foram influenciadas pela profundidade, estação climática e posição em relação ao tronco;

- a produção de frutos foi positivamente influenciada pela irrigação e

- as raízes profundas contribuíram com o suprimento hídrico das plantas de citros nos períodos com déficit hídrico.

7. REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2013. **Anuário da Agricultura Brasileira**, São Paulo, FNP, 2012.
- AGUSTÍ, M. **Citricultura**. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. 416 p.
- ANDERSON, T. M.; STARMER, W. T.; THORNE, M. Bimodal root diameter distributions in Serengeti grasses exhibit plasticity in response to defoliation and soil texture: implication for nitrogen uptake. **Functional Ecology**, v. 21, n. 1, p. 50-60, 2007.
- BATTIE LACLAU, P. B.; LACLAU, J. P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 114, n. 2, p. 351-360, 2009.
- BLEBY T. M.; MCELRONE, A.J.; JACKSON, R. B. Water uptake and hydraulic redistribution across large woody root systems to 20m depth. **Plant, Cell & Environment**. v.33, n. 1, p. 2132-2148, 2010.
- BLEBY, T.M., COLQUHOUN, I.J., ADAMS, M.A. Hydraulic traits and water use of Eucalyptus on restored versus natural sites in a seasonally dry forest in southwestern Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 274, n. 3, p. 58-66, 2012.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlim: Springer-Verlag, 1979. 188p.
- BREMER NETO, H.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; STUCHI, E. S.; ESPINOSA-NÚÑEZ, E.; CANTUARIAS-AVILÉS, T. The horticultural performance of five 'Tahiti' lime selections grafted onto 'Swingle' citrumelo under irrigated and non-irrigated conditions. **Scientia Horticulturae**, v.150, n. 2, p. 181-186, 2013.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.
- CARVALHO, J. E. B.; SOUZA, L. S.; JORGE, L. A. C.; RAMOS, W.; COSTA NETO, A. O.; ARAÚJO, A. M. A.; LOPES, L.; JESUS, M. Manejo de coberturas do solo e sua

interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja pêra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 140-145, 1999.

CASTLE, W. S. **Rootstocks for Florida Citrus: rootstocks selection – the first step to success**. Gainesville: Institute of Food and Agricultural science, University of Florida, 1989. 47 p.

CASTRO NETO M. T. de. Fisiologia. Cap. 7, p. 173-193, 2013. In: CUNHA SOBRINHO, A. P. da; MAGALHÃES, A. F. de J.; SOUZA, A. da S.; PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. dos S. **Cultura dos citros**. Brasília: Embrapa, 2013. 399p.

CHRISTINA, M.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v. 2, n. 1, p.1-10, 2011.

COELHO, R. B. Irrigação por gotejo: problemas e soluções. **Citricultura Atual**, v. 76, n.1, p. 12-14, 2010.

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

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento 2011 **Laranja: safra 2011**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Citricultura/27RO/APP_Safra.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2015.

CONSOLI, S.; STAGNO, F.; ROCCUZZO, G.; CIRELLI, G.L.; INTRIGLIOLO, F. Sustainable management of limited water resources in a Young Orange orchard. **Agricultural Water Management**, v. 132, n. 1, p. 60-68, 2014.

CRUZ, M. do C. M. da; ROCHA, R. H. C.; SIQUEIRA, D. L. de; SALOMÃO, L. C. C. Avaliação do potencial foliar, umidade do solo e temperatura do ar no período pré-florescimento dos citros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.5, p. 1291-1296, 2007.

DARDANELLI, J.L., BACHMEIER, O.A., SERENO, R., GIL, R. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. **Field Crops Research**, v. 54, n. 3, p. 29–38. 1997.

DONADIO, L. C.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; MOREIRA, C. S. Centros de origem, distribuição geográfica das plantas cítricas e história da citricultura no Brasil. Cap. 1, p. 2-18, 2005. In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. 929p.

DUENHAS, L. H.; VILLAS BÔAS, R. L.; SOUZA, C. M. P.; OLIVEIRA, M. V. A. M.; DABRI, A. B. Produção, qualidade de frutos e estado nutricional da laranja ‘Valência’ sob fertirrigação e adubação convencional. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 154-160, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2006. 306 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2011 **Considerações sobre a produção de laranja no Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/marques_lms/35-ro-citricultura-embrapa-parte-3>. Acesso em: 22 de abril de 2015.

EWERS, B.E.; OREN, R.; SPERRY, J.S.; Influence of nutrient versus water supply on hydraulic architecture and water balance in *Pinus taeda*. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, n. 1, p.1055–1066, 2000.

Ford, H.W. The influence of rootstock and tree age on root distribution of *Citrus*. **American Society for Horticultural Science**, v. 63, n. 1, p. 137-142, 1954.

FREYCON, V.; WONKAM, C.; FAYOLLE, A.; LACLAU, J. P.; LUCOT, E.; JOURDAN, C.; CORNU, G. GOURLET-FLEURY, S. Tree roots can penetrate deeply in African semi-deciduous rain forests: evidence from two common soil types. **Journal of Tropical Ecology**, v. 31, n.1, p. 13-23, 2015.

GRANIER, A. Une nouvelle method pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales de Sciences Forestières**. Paris, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.

HACKE UG, SPERRY JS, EWERS BE, ELLSWORTH DS, SCHAFER KVR. Influence of soil porosity on water use in *Pinus taeda*. **O ecologia**, v. 124, n. 1, p. 495–505, 2000.

HASSE, G. **A laranja no Brasil 1500-1987**. São Paulo, 1987, 296 p.

HERZOG, C.; STEFFEN, J.; PANNATIER, E. G.; HAJDAS, I.; BRUNNER, I. Nine years of irrigation cause vegetation and fine root shifts in a water-limited pine Forest. **Plos One**, v. 9, n. 5, p. 1-11, 2014.

HODGE, A. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. **New Phytologist**, v. 162, n. 1, p. 9-24, 2004.

HSIAO, T. C. Leaf and root growth in relation to water status. **Hortscience**, v.36, n.6, p. 1051-1058, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2013 –the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013.

JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface área, and nutrient contents. **Ecology**, v. 94, n. 1, p. 7362-7366, 1997.

KAUFMANN, M. R.; BOXWELL, S. B.; LEWIS, L. N. Effect of tree spacing on root distribution of 9-year old ‘Washington’ navel oranges. **Journal American Society Horticultural Science**, v. 97, n. 2, p. 204-206, 1972.

KRIEDEMANN, P. E.; BARRS, H. D. Citrus orchards. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Water deficit and plant growth**. New York: Academic, v. 6, n. 1, p. 325-418, 1981.

LACLAU, J-P.; ALMEIDA, J.C.R.; GONÇALVES, J.L.M.; SAINT-ANDRÉ, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R.M.; NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf life span and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. **Tree Physiology**, v. 29, n. 1, p. 111-124, 2009.

LACLAU, J-P.; SILVA, E. A. da; LAMBAIS, G. R.; BERNOUX, M.; MAIRE, G. le; STAPE, J. L.; BOUILLET, J-P; GONÇALVES, J. L. de M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 243, p. 1-12, 2013.

LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evolution of traits for improving crop yields in water limited environments. **Advances in Agronomy**, v. 43, n. 5, p. 107-153, 1990.

MA, L-H.; LUI, X-L.; WANG, Y-K.; WU, P-T. Effects of drip irrigation on the deep root distribution, rooting depth, and soil water profile of jujube in a semiarid region. **Plant and Soil**, v. 373, n. 1, p. 995-1006, 2013.

MAEGHT, J-L.; REWALD, B.; PIERRET, A. How to study deep roots – and why it matters. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 299, p. 1-14, 2013.

MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F. de; RIBEIRO, R. V.; MEDINA, C. L.; STUCHI, E. S.; MARIN, F. R.; SILVA, J. A. B. da; SILVA, S. R. da. Fluxo de seiva e fotossíntese em laranja 'Natal' com clorose variegada dos citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 911-918, 2006.

MCCULLEY, R. L.; JOBBÁGY, E. G.; POCKMAN, W. T.; JACKSON, R. B. Nutrient uptake as a contributing explanation for deep rooting in arid and semi-arid ecosystems. **Oecologia**, v. 141, n. 2, p. 620-628, 2004.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e relações hídricas em laranja 'Valência' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' e 'Trifoliata' e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, v. 57, n. 1, p. 15-22, 1998.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. de M. de A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.

MEDINA, C. L.; RENA, A. B.; SIQUEIRA, D. L.; MACHADO, E. C. Fisiologia dos citros. Cap. 7, p. 149-184, 2005. In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005. 929p.

MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. **Plant and Soil**, v. 222, n. 2, p. 163-190, 2000.

NEPSTAD, D. C.; CARVALHO, C. R. de; DAVIDSON, E. A.; JIPP, P. H.; LEFEBVRE, P. A.; NEGREIROS, G. H.; SILVA, E. D. da; STONE, T. A.; TRUMBORE, S. E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forest and pastures. **Nature**, v. 372, n. 1, p. 666-669, 1994.

NEVES, C. S. V. J.; DECHEN, A. R.; MEDINA, C. de C.; GUIMARÃES, M. de F. Comparison of citrus rooting evaluation methods using root images in soil profiles and root weight. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2537-2541, 2000.

NORDELO, C. B.; TORRE, A. B. **Citricultura tropical**. Havana: Ministério de Educação Superior, 1991, 227p.

OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, n. 6, p. 574-581, 2005.

OSTONEN I, PUTTSEPP U, BIEL C, ALBERTON O, BAKKER M.R. Specific root length as an indicator of environmental change. **Plant Biosystems**, v. 141, n. 5, p. 426-442, 2007.

PARSONS, L. R.; WHEATON, T. A. Irrigation management and citrus tree response in a humid climate. **Hortscience**, Alexandria, v. 35, n. 2, p. 1043-1045, 2000.

PIO, R. M.; FIGUEIREDO, J. O. de; STUCHI, E. S.; CARDOSO, S. A. de B. Variedades copas. Cap. 3, p. 36-60, 2005. In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. 929 p.

PIRES, R. C. de M.; LUCHIARI, D.J.F.; ARRUDA, F. B.; MOSSAK, I. Irrigation. In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, p. 369-408, 2005.

POMPEU JUNIOR, P. Porta-enxertos. Cap. 4, p. 91-104, 2005. In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. 929p.

PREGITZER, K. S.; LASKOWSKI, M. J.; BURTON, A. J.; LESSARD, V. C.; ZAC, D. R. Variation in sugar maple root respiration with root diameter and soil depth. **Tree Physiology**, v. 18, n. 2, p. 665-670, 1998.

ROUMET, C.; LAFONT, F.; SARI, M.; WAREMBOURG, I.; GARNIER, E. Root traits and taxonomic affiliation of nine herbaceous species grown in glasshouse conditions. **Plant and Soil**, v. 312, n. 5, p. 69-83, 2008.

ROUMET, C.; URCELAY, C.; DÍAZ, S. Suites of root traits differ between annual and perennial species growing in the field. **New Phytologist**, v. 170, n. 1, p. 357-368, 2006.

RYSER, P. The mysterious root length. **Plant and Soil**, v. 286, n. 1, p. 1-6, 2006.

SALASSIER, B. **Manual de irrigação**. 8 ed., Viçosa, UFV, 2009, 625p.

SALOMÃO, L. C.; SOUZA, T. R. de; VILLAS BÔAS, R. L.; ANDRADE, T. F. de; FORATTO, L. C.; SANTOS, A. J. M. Posicionamento de extratores de cápsula porosa em solo Arenoso na citricultura fertirrigada por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 469-480, 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SCHENK H. J. Vertical vegetation structure below ground: scaling from root to global. **Progress in Botany**, v. 66, n. 3, p. 341-373, 2005.

SCHENK, H. J.; JACKSON, R. B. Rooting depths, lateral root spreads and Bellow-ground / above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 90, n. 4, p. 480-494, 2002.

SHIRGURE, P. S.; SRIVASTAVA, A. K.; SHYAM, S. Automatic drip irrigation system in Nagpur mandarin. **IX International Society of Citriculture Congress**, Florida, 2000, p. 141.

SOOST, R. K.; CAMERON, J. W. **Citrus**. In: JANICK, J.; MOORE, J. N. (Ed) *Advances in fruit breeding*. West Lafayette: Purdue University Press, 1975. p. 507-540.

SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. de Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. da S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 1, p. 503-513, 2008.

STONE, E.L.; KALISZ, P.J. On the maximum extent of tree roots. **Forest Ecology and Management**, v. 46, n. 4, p. 59-102, 1991.

THONGO M'BOU, A.; JOURDAN, C.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P.; MIALOUNDAMA, F.; MABIALA, A.; EPRON, D. Root elongation in tropical *Eucalyptus* plantations: Effect of soil water content. **Annals of Forest Science**, v. 65, n. 5, p. 609, 2008.

VILLAS BÔAS, R. L.; MORAES, M. H.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; CAMARGO, D. A.; DUENHAS, L. H. Teores de nutrientes na folha, qualidade do suco e massa seca de raízes de laranja “valência” em função da irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n.1, p. 231-235, 2002.

VON CAEMMERER S.; FARQUHAR, G.D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, v. 153, n. 1, p. 376-387, 1981.

WHITNEY, J. D.; ELIZABY, A.; CASTLE, W. S.; WHEATON, T. A.; LITTELL, R. C.
Citrus tree spacing effects on soil water use, root density, and fruit yields. **American
Society of Agricultural Engineers**. Saint Joseph, v. 34, n. 1, p. 129-134, 1991.