

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Fisiologia da produção de mudas cítricas sob deficiência hídrica

Eduardo Augusto Girardi

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Agronomia. Área de concentração:
Fitotecnia**

**Piracicaba
2008**

Eduardo Augusto Girardi
Engenheiro Agrônomo

Fisiologia da produção de mudas cítricas sob deficiência hídrica

Orientador:
Prof. Dr. **FRANCISCO DE ASSIS ALVES**
MOURÃO FILHO

Tese apresentada para obtenção
do título de Doutor em Agronomia.
Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2008

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Girardi, Eduardo Augusto
Fisiologia da produção de mudas cítricas sob deficiência hídrica / Eduardo
Augusto Girardi. - - Piracicaba, 2008.
176 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Balanço hídrico 2. Fisiologia vegetal 3. Frutas cítricas 4. Irrigação - manejo
5. Mudas 6. Portas-Enxertos I. Título

CDD 634.3
G521f

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A meus pais, Cláudio Maurício Girardi e Ana Regina Augusto Girardi, pelo amor incondicional.

À minha noiva, Raquel de Cássia Neroni, o grande amor da minha vida.

A meus avôs, Acácio Augusto e Augusto Girardi (*in memoriam*), pela coragem, e a minhas avós, Carmem Augusto e Clara Girardi (*in memoriam*), pelo carinho.

À minha família, tias Conceição e Cristina, primo Fernando, cunhada Rafaela, sogros Antônio e Marta, pela presença constante.

Ao Prof. Dr. Francisco de Assis Alves Mourão Filho, pela amizade e exemplo nestes dez anos.

À ESALQ e à USP, por todas as oportunidades que me proporcionaram.

A Luiz de Queiroz, ter feito parte de seu sonho me engrandece.

Aos Filhos de Ceres, seu trabalho diário constrói a grandeza desta terra Brasil.

À cidade de Piracicaba, por ter me acolhido tão bem durante minha estadia na Noiva da Colina.

À Única e Somente Única República Vaktôa, seus moradores e ex-moradores, minha família adotiva.

Aos Engenheiros Agrônomos Gilberto Tozatti e Reinaldo Donizeti Corte, da empresa Sanicitrus Mudanças Cítricas, pela confiança em permitir a condução dos trabalhos nas dependências de sua empresa e pela atenção sempre constante.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de doutorado e dos recursos para auxílio à pesquisa, destinados à realização deste trabalho.

À citricultura brasileira, seus empresários, pesquisadores, agricultores, trabalhadores, que criaram e sustentam essa cadeia em que me formei como profissional.

Aos funcionários da Sanicitrus Mudanças Cítricas, representados por André Gouveia, Karina Bonato, Sérgio Martins e pelas Meninas Super Poderosas, pelo apoio gratuito às minhas necessidades.

Ao Prof. Dr. Marcos Silveira Buckeridge, do Instituto de Biociências da USP, pelo entusiasmo e suporte às análises de carboidratos apresentadas neste trabalho.

Aos professores da USP/ESALQ Dra. Lilian Amorin, Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto, Dr. Victor Alexandre Vitorello, Dr. Rubens Duarte Coelho, Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira, Dr. Luiz Roberto Angelocci e Dr. Ricardo Ferraz de Oliveira, e ao Prof. Dr. Jairo Augusto Campos de Araújo, da UNESP/FCAV, pela disponibilização de parte dos equipamentos necessários à condução dos trabalhos experimentais e pelas sugestões para análise dos resultados.

Ao colega Alessandro Rodrigues e seus familiares, pela amizade verdadeira que nasceu.

À Bióloga Andréia Dias Brandão, pelo bom humor e apoio indispensável na bancada do laboratório, e a seu marido Ricardo pela paciência e gentileza nas dicas de informática.

Aos Engenheiros Agrônomos Dr. Juan Sinfiorano Delgado Rojas e Dra. Sílvia Blumer, respectivamente pelo auxílio na condução dos testes preliminares envolvendo método de Granier e pela utilização do equipamento de medição de fotossíntese.

Aos colegas da Pós-Graduação João Paulo Campos de Araújo, Antônio Clarete, Sérgio Tapparo, Rafael Vivian, Vanderlei Antônio Stefanuto e Bruno, pelas colaborações de bancada.

A todos os professores do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, representados pelo Dr. João Alexio Scarpate Filho e Dr. Ângelo Pedro Jacomino, pela dedicação e confiança.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, representados por Luciane Toledo, Elisabete João, Célia Rodrigues, Aparecido Serrano, Éder Cintra, José Volpato, David Ulrich, Gaudêncio Stenico e Horst Bremer Neto, pela amizade e atenção do dia-a-dia.

Às colegas do Laboratório de Biotecnologia em Plantas Hortícolas e a todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pelo companheirismo, e aos alunos de graduação, pelo respeito e estímulo para continuar na docência.

A todos os meus amigos,

Muito obrigado

A Felicidade é o dia.

O Bem é o propósito.

O Conhecimento é o caminho.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	12
1 INTRODUÇÃO	16
2 DESENVOLVIMENTO	21
2.1 Material e Métodos	21
2.1.1 Experimento envolvendo PEG como osmólito	21
2.1.2 Experimento envolvendo exclusivamente interrupção da irrigação como método de indução de deficiência hídrica	31
2.2 Resultados e Discussão	33
2.2.1 Experimento envolvendo PEG como osmólito	33
2.2.2 Experimento envolvendo exclusivamente interrupção da irrigação como método de indução de deficiência hídrica	78
3 CONCLUSÕES	137
REFERÊNCIAS	138
APÊNDICES	153

RESUMO

Fisiologia da produção de mudas cítricas sob deficiência hídrica

Conhecimentos sobre fisiologia da produção de mudas cítricas sob condições de deficiência hídrica são necessários para fomentar as práticas de irrigação em viveiros telados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de deficiência hídrica induzido por polietileno glicol (PEG) e por interrupção da irrigação sobre o desenvolvimento e variáveis fisiológicas de mudas de laranja ‘Valência’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck) enxertada sobre limão ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck) e citrumelo ‘Swingle’ (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf x *Citrus paradisi* Macf). As mudas foram produzidas em sacolas plásticas de 4,5L contendo substrato a base de casca de pinus e submetidas à deficiência hídrica durante três fases fenológicas, e em duas estações do ano (outono-inverno e primavera-verão). O trabalho foi dividido em dois experimentos. No primeiro, avaliaram-se plantas mantidas em capacidade de container e submetidas à interrupção intermitente da irrigação, até o potencial hídrico do substrato atingir -15kPa, e a duas concentrações de PEG, correspondentes ao potencial hídrico no substrato de respectivamente -15 e -25kPa. No segundo experimento, avaliaram-se plantas mantidas em capacidade de container e submetidas a interrupção intermitente da irrigação até o potencial hídrico do substrato atingir respectivamente -15 e -25kPa. Dados coletados incluíram variáveis biométricas, concentrações foliares de nutrientes, de prolina e de clorofila, concentração de carboidratos em raízes, caule e folhas, aproveitamento comercial de mudas, taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, transpiração e eficiência do uso da água. O delineamento adotado foi o de blocos ao acaso, seguindo o esquema fatorial 2 x 3 x 4 (porta-enxerto x fase de crescimento x deficiência hídrica), perfazendo 24 tratamentos e cinco repetições para o primeiro experimento, e esquema fatorial 2 x 3 x 3, com 18 tratamentos e seis repetições no segundo experimento. A parcela experimental foi constituída de seis plantas. Mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ apresentam crescimento e características fisiológicas distintas, sendo que maior vigor é induzido por aquele porta-enxerto. O emprego de PEG como osmólito em estudos para indução de deficiência hídrica *in vivo* não é indicado para citros em vasos, já que este material acarreta efeitos fisiológicos distintos daqueles apresentados por plantas submetidas à interrupção da irrigação. Mudas sobre ambos porta-enxertos são afetadas pela interrupção da irrigação entre a retirada do fitilho e a maturação do segundo fluxo de crescimento do enxerto, sendo os prejuízos proporcionais à duração da deficiência hídrica. Os efeitos da seca temporária são mais intensos quando aplicados isoladamente a partir da maturação do primeiro fluxo de crescimento, devido ao maior tamanho das plantas. A interrupção da irrigação até que o potencial hídrico do substrato seja de -15kPa permite produção satisfatória de mudas de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, independentemente do período em que ocorra a deficiência hídrica. A interrupção da irrigação até que o potencial hídrico do substrato atinja -25kPa afeta significativamente a produção das mudas cítricas. O limão ‘Cravo’ induziu maior aclimatação à copa, apresentando grande capacidade de recuperação do crescimento e do desempenho fisiológico após sucessivos ciclos de suspensão / restauração da irrigação.

Palavras-chave: *Citrus* spp.; Deficiência hídrica; Fisiologia; Manejo da irrigação; Porta-enxertos; Produção de mudas

ABSTRACT

Physiology of citrus nursery tree production under water deficit

Physiological aspects of citrus nursery tree production submitted to water deficit are necessary to support irrigation management in screen houses. This work evaluated water stress induced either by polyethylene glycol (PEG) or irrigation suspending on growth and physiological traits of 'Valencia' sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) budded on 'Rangpur' lime (*Citrus limonia* Osbeck) and 'Swingle' citrumelo (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf x *Citrus paradisi* Macf). Nursery trees were produced in 4.5L containers filled with composted pine bark, and submitted to water stress in three phenological phases in two seasons (autumn-winter and spring-summer). Experimental works were divided in two trials. In the first one, evaluation was carried on plants submitted to container capacity, irrigation suspending when substrate water potential dropped to -15kPa, and two PEG concentrations in water equivalents to substrate water potential of -15 and -25kPa. In the second trial, evaluation was carried on plants submitted to container capacity and irrigation suspending when substrate water potential dropped to -15 and -25kPa. Data collected included biometric variables, leaf concentrations of nutrients, proline and chlorophyll, carbohydrates concentrations in roots, stems and leaves, commercial feasibility of nursery trees, CO₂ assimilation rate, stomatal conductance, leaf transpiration and temperature, and water use efficiency. Experimental design was randomized blocks with a 2 x 3 x 4 factorial (rootstock x phenological phase x water stress), performing 24 treatments and five replicates for the first experiment, and a 2 x 3 x 3 factorial with 18 treatments and six replicates for the second experiment. Experimental unit consisted of six nursery plants aligned on concrete benches. 'Valencia' sweet orange budded on 'Rangpur' lime and 'Swingle' citrumelo had different growth and physiological behavior, with the first rootstock inducing higher vigor. PEG should not be used for *in vivo* water stress studies in containerized citrus, as a result of toxicity and physiological effects distinct from those observed in plants submitted to suspended irrigation. Nursery trees on both materials are affected by suspended irrigation from unwrapping to the maturation of scion second growth flush. Damages to plant development due to water deficit are proportional to stress duration. However, temporary drought is more harmful when partially induced after the scion first growth flush, probably because of higher plant size and container restriction. Substrate water potential of -15kPa can be used as adequate irrigation threshold for 'Valencia' sweet orange nursery production on 'Rangpur' lime and 'Swingle' citrumelo rootstocks regardless of phenological phase. On the other hand, substrate water potential of -25kPa significantly reduces horticultural value of citrus nursery trees. 'Rangpur' lime induces higher morphological and physiological acclimation to the scion due to irrigation suspending, and it also has great plasticity and recovery of growth and physiological performance after successive suspending / restoring irrigation cycles.

Keywords: *Citrus* spp.; Irrigation management; Nursery tree production; Physiology; Rootstocks; Water deficit

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicação de fertilizante de liberação lenta na concentração de 2,5 kg m ⁻³ de substrato, antes do início das avaliações. Observar enxertia do tipo T-invertido. Araras, 2006.....	25
Figura 2 - Sensor Irrigás® empregado para monitoramento de potencial hídrico do substrato por tensiometria (esquerda). Instalação do sensor em sacola de muda cítrica (direita). Araras, 2007.....	25
Figura 3 - Curva padrão para determinação de concentração de amido em material vegetal de citros. Araras, 2007.....	30
Figura 4 - Variação diária de massa de sacolas contendo mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ (A) e citrumelo ‘Swingle’ (B), e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, até 95 dias após a retirada do fitilho de enxertia. Araras, 2007.....	35
Figura 5 - Variação diária de temperaturas máxima, mínima e às 09:00h na localidade do viveiro de mudas (A) e no interior da estufa (B) em que foi instalado o experimento, desde o transplante dos porta-enxertos até o término do segundo fluxo de crescimento de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica. As setas indicam a enxertia (1) e o término do primeiro fluxo de crescimento (2). Araras, 2007.....	36
Figura 6 - Variação diária da umidade relativa às 09:00h na localidade do viveiro de mudas (ambiente) e no interior da estufa em que foi instalado o experimento, desde o transplante dos porta-enxertos até o término do segundo fluxo de crescimento de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica. As setas indicam a enxertia (1) e o término do primeiro fluxo de crescimento (2). Araras, 2007.....	37
Figura 7 - Variação semanal de pH do substrato de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, entre o início do segundo fluxo de crescimento do enxerto e término de produção das mudas (n=6). Araras, 2007.....	39
Figura 8 - Variação semanal de pH do substrato de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e submetidas a irrigação diária de solução contendo PEG (média de -15 e -25kPa) aplicada em diferentes fases de crescimento das mudas, medida entre o início do segundo fluxo de crescimento do enxerto e término de produção das mudas (n=6). Araras, 2007.....	39
Figura 9 - Variação semanal de eletrocondutividade (EC) do substrato de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, entre o início do segundo fluxo de crescimento do enxerto e término de produção das mudas (n=6). Araras, 2007.....	40
Figura 10 - Fitotoxidez de boro (esquerda) e fitotoxidez de sódio (direita) em porta-enxertos de citros cultivados em fibra de coco. Araras, 2006.....	41
Figura 11 - (A) Área experimental; (B) mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, após primeiro fluxo de desenvolvimento do enxerto, 60 dias após retirada de fitilho de enxertia; (C) sintomas iniciais de fitotoxidez observados em tratamentos submetidos a PEG; (D) sintomas avançados de fitotoxidez observados em tratamentos submetidos a PEG -15kPa; (E) muda produzida em condições de capacidade de container (esquerda) ao lado de muda produzida em condições de irrigação intermitente (direita), no período de máximo estresse; (F, G) sintomas avançados de fitotoxidez observados em tratamentos submetidos a PEG -25kPa. Araras, 2007.....	47

- Figura 12 - (A) Mudanças de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’, após segundo fluxo de desenvolvimento do enxerto, cerca de 120 dias após retirada de fitilho de enxertia; (B) sintomas de fitotoxidez observados em tratamentos submetidos a PEG somente após o início do segundo fluxo de crescimento das mudas; (C) notar aspecto sadio apresentado pelo segundo fluxo de crescimento em mudas previamente submetidas a PEG ajustado para -25 KPa e depois irrigadas apenas com água. Araras, 2007 48
- Figura 13 - Potencial hídrico de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, durante período de máximo estresse (PME) e predawn, ao longo de quatro dias consecutivos. Cada ponto em um dia corresponde à média de seis plantas. A seta indica quando foi realizada irrigação para recuperação de capacidade de container em plantas submetidas à interrupção da irrigação (n=6). Piracicaba, 2007..... 62
- Figura 14 - Temperatura e déficit de pressão de vapor atmosférico, registrados durante período de medição de variáveis de fotossíntese de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2007..... 66
- Figura 15 - Exemplo de cromatograma para carboidratos solúveis em tecido de mudas de laranja ‘Valência’ obtido via cromatografia líquida de alta performance. Cada pico corresponde a uma substância em período compreendido entre 0 e 25 minutos. glc = glicose; fru = frutose; sac = sacarose. São Paulo, 2007..... 74
- Figura 16 - Participação relativa (%) de glicose, frutose e sacarose no total de carboidratos solúveis em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ (A) e citrumelo ‘Swingle’ (B), conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2007..... 77
- Figura 17 - Variação diária da temperatura máxima, mínima e às 09:00h na localidade do viveiro de mudas (A) e no interior da estufa (B) em que foi instalado o experimento, desde o transplante dos porta-enxertos até 40 dias após início do segundo fluxo de crescimento de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica. As setas indicam a enxertia (1) e o término do primeiro fluxo de crescimento (2). Araras, 2007..... 79
- Figura 18 - Variação diária da umidade relativa do ar na localidade do viveiro de mudas (A) e no interior da estufa (B) em que foi instalado o experimento, desde o transplante dos porta-enxertos até 40 dias após início do segundo fluxo de crescimento de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica. As setas indicam a enxertia (1) e o término do primeiro fluxo de crescimento (2). Araras, 2007..... 80
- Figura 19 - Variação diária de massa de sacolas contendo mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ (A) e citrumelo ‘Swingle’ (B), e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica durante a fase 3 (primeiro + segundo fluxos de crescimento), até 135 dias após a retirada do fitilho de enxertia. Araras, 2007..... 82
- Figura 20 - Variação diária de massa de sacolas contendo mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, durante o primeiro fluxo de crescimento do enxerto, ou seja, a Fase 1 (A), ou durante o segundo fluxo de crescimento do enxerto, ou seja, a Fase 2 (B), até 135 dias após a retirada do fitilho de enxertia. Araras, 2007..... 83
- Figura 21 - Curva de retenção de água em substratos a base de casca de pinus e fibra de coco, utilizados para produção de mudas de citros. Araras, 2006..... 85
- Figura 22 - Variação do pH em drenado obtido a partir do substrato de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ (A) e citrumelo ‘Swingle’ (B) e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 75 e 150 dias após retirada do fitilho (n=3). Araras, 2007..... 87

Figura 23 - Variação da eletrocondutividade (dS m^{-1}) em drenado obtido a partir do substrato de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ (A) e citrumelo ‘Swingle’ (B) e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 75 e 150 dias após retirada do fítilho (n=3). Araras, 2007.....	88
Figura 24 - Variação da concentração de nitrato (mg L^{-1}), em drenado obtido a partir de substrato de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ (A) e citrumelo ‘Swingle’ (B) e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 75 e 150 dias após retirada do fítilho (n=3). Araras, 2007.....	89
Figura 25 - (A) mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ (dir) e citrumelo ‘Swingle’ (esq), após primeiro fluxo de desenvolvimento do enxerto, 72 dias após retirada de fítilho de enxertia; (B) as setas indicam mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’, após primeiro fluxo de desenvolvimento do enxerto, 72 dias após retirada de fítilho de enxertia, e demonstrando sintomas de murcha por deficiência hídrica; (C) sintomas iniciais de murcha em brotação da enxertia em função de interrupção da irrigação até potencial hídrico do substrato atingir -25kPa ; (D) florescimento observado após finalização das avaliações e restauração da irrigação em plantas remanescentes, 180 dias após a retirada de fítilho da enxertia. Araras, 2007/2008.....	94
Figura 26 - Potencial hídrico de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, durante período de máximo estresse (PME) e predawn, ao longo de quatro dias consecutivos. Cada ponto em um dia corresponde a média de 6 plantas. A seta indica quando foi realizada irrigação para recuperação de capacidade de container em plantas submetidas à interrupção da irrigação. Só houve diferença significativa entre tratamentos no dia 1 (máximo estresse). Piracicaba, 2007.....	109
Figura 27 - Temperatura e déficit de pressão de vapor atmosférico registrados durante período de avaliação de variáveis de fotossíntese de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro (A) e do segundo (B) fluxos de crescimento, respectivamente cerca de 60 (A) e 120 (B) dias após a retirada de fítilho da enxertia. Piracicaba, 2007/2008.....	118
Figura 28 - Concentração de amido (mg g^{-1} MS) em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ (A) e citrumelo ‘Swingle’ (B) e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fítilho da enxertia. São Paulo, 2007.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração foliar de macro e micronutrientes em porta-enxertos de citros produzidos em recipientes contendo fibra de coco. Araras, 2006.....	41
Tabela 2 - Altura, diâmetro 15 acima do colo, número de folhas (NF), comprimento de internódio (CI), área foliar unitária (AF), massa foliar específica (MFE), e massas de matérias fresca e seca de folhas (MFF e MSF), caule (MFC e MSC) e sistema radicular (MFR e MSR) de porta-enxertos de limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', no momento da enxertia com laranja 'Valência'. Araras, 2006.....	42
Tabela 3 - Concentração de carboidratos solúveis totais (CHOt) e de açúcares redutores (Ac Red) em folhas, caule e sistema radicular de porta-enxertos de limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', no momento da enxertia com laranja 'Valência'. Araras, 2006.....	42
Tabela 4 - Altura e número médio de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	45
Tabela 5 - Diâmetro de caule de porta-enxerto e diâmetro de caule de enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	46
Tabela 6 - Comprimento de internódio de enxerto e abscisão foliar de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	50
Tabela 7 - Massa de matérias fresca e seca de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	52
Tabela 8 - Massa de matérias fresca e seca de caule de enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	53
Tabela 9 - Massa de matérias fresca e seca de caule de porta-enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	54
Tabela 10 - Massa de matérias fresca e seca de sistema radicular de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	55
Tabela 11 - Área foliar total e massa foliar específica de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	58
Tabela 12 - Volume de sistema radicular e relação raiz:copa de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	59
Tabela 13 - Aproveitamento comercial (%) de mudas de laranja 'Valência', enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	60

Tabela 14 - Potencial hídrico (Ψ_w) de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia, durante predawn e período de máximo estresse (PME) (n=15). Piracicaba, 2007.....	62
Tabela 15 - Potencial hídrico (Ψ_w) de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia, durante predawn e período de máximo estresse (PME) (n = 9). Piracicaba, 2007.....	63
Tabela 16 - Condutância estomática, taxa de assimilação de CO ₂ , transpiração e temperatura do limbo foliar de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (n=6). Piracicaba, 2007.....	65
Tabela 17 - Concentração foliar de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	68
Tabela 18 - Concentração foliar de magnésio, boro, ferro e cobre, de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	69
Tabela 19 - Concentração foliar de manganês e zinco de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	70
Tabela 20 - Concentração foliar de clorofila de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	71
Tabela 21 - Concentração foliar de prolina de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (n=3). Piracicaba, 2007.....	72
Tabela 22 - Concentração de amido em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja 'Valência' enxertada sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2007.....	73
Tabela 23 - Concentração de glucose, frutose e sacarose, e relação fonte: dreno em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja 'Valência' enxertada sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2007.....	75
Tabela 24 - Teor de umidade em substrato de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 150 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	84
Tabela 25 - Altura e número médio de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	92
Tabela 26 - Diâmetro de caule de porta-enxerto e diâmetro de caule de enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	93

Tabela 27 - Comprimento de internódio de enxerto e abscisão foliar de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	96
Tabela 28 - Massa de matérias fresca e seca de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	98
Tabela 29 - Massa de matérias fresca e seca de caule de enxerto de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	99
Tabela 30 - Massa de matérias fresca e seca de caule de porta-enxerto de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	100
Tabela 31 - Massa de matérias fresca e seca de sistema radicular de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	101
Tabela 32 - Áreas foliares total e individual de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	102
Tabela 33 - Áreas foliares total e individual, e massa foliar específica de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	103
Tabela 34 - Volume de sistema radicular e relação raiz:copa de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	106
Tabela 35 - Aproveitamento comercial (%) de mudas de laranja ‘Valência’, enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007.....	107
Tabela 36 - Potencial hídrico de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia, durante predawn e período de máximo estresse (PME) (n = 18). Piracicaba, 2007.....	108
Tabela 37 - Potencial hídrico de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia, durante predawn e período de máximo estresse (PME) (n = 18). Piracicaba, 2007.....	109
Tabela 38 - Condutância estomática, taxa de assimilação de CO ₂ , transpiração, temperatura do limbo foliar e eficiência do uso da água (WUE) de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2007.....	111

Tabela 39 - Condutância estomática, taxa de assimilação de CO ₂ , transpiração, temperatura do limbo foliar e eficiência no uso da água (WUE) de folhas de 1º fluxo (6 meses de idade) e folhas de 2º fluxo (3 meses de idade) em mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2008.....	112
Tabela 40 - Condutância estomática, taxa de assimilação de CO ₂ , transpiração, temperatura do limbo foliar e eficiência no uso da água (WUE) de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2008.....	117
Tabela 41 - Concentração foliar de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	122
Tabela 42 - Concentração foliar de magnésio, enxofre, boro e ferro, de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	123
Tabela 43 - Concentração foliar de cobre, manganês e zinco de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007.....	124
Tabela 44 - Concentração foliar de clorofila de folhas do primeiro e do segundo fluxos de crescimento, de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2007.....	126
Tabela 45 - Concentração foliar de prolina de folhas dos porta-enxertos limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ em ponto de enxertia, e de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre os mesmos porta-enxertos, após o término do segundo fluxo de crescimento, 150 dias após a retirada de fitilho da enxertia, em função de diferentes intensidades de deficiência hídrica. Piracicaba, 2008.....	128
Tabela 46 - Concentração de amido (mg g ⁻¹ MS) em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2007.....	129
Tabela 47 - Concentração de amido em folhas e caule de enxerto, referentes aos 1º e 2º fluxos de crescimento, e em sistema radicular de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 150 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2008.....	132
Tabela 48 - Concentração de glucose, frutose e sacarose, e relação fonte: dreno em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2007.....	134
Tabela 49 - Concentração de glucose e de frutose em folhas e caules de enxerto referentes ao 1º e ao 2º fluxo de crescimento e em raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2008.....	135
Tabela 50 - Concentração de sacarose e relação fonte: dreno em folhas e caules de enxerto referentes ao 1º e ao 2º fluxo de crescimento e em raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho. São Paulo, 2008..	136

1 INTRODUÇÃO

A cadeia agroindustrial dos citros representa cerca de 2% da pauta de exportações brasileiras, gerando ao redor de US\$ 1,4 bilhão ao ano, sendo que 72% deste valor provem do suco de laranja concentrado congelado (NEVES et al., 2007). No Estado de São Paulo está concentrada 79% da produção brasileira de laranja, em mais da metade dos municípios, gerando 400 mil empregos diretos. O Estado é responsável por 95% das exportações de suco, produto que ocupa a segunda posição nas exportações paulistas. A área colhida de citros ocupou, até agosto de 2007, aproximadamente 565 mil ha, com uma produção total de cerca de 360 milhões de caixas de 40,8 kg na safra 06/07 (FNP, 2008).

Entre o final da década de 80 e início do século XXI, uma série de novas e de reincidentes doenças foram registradas nos pomares paulistas, a exemplo da clorose variegada dos citros (CVC), cancro cítrico, morte súbita dos citros (MSC) e huanglongbing (HLB), colocando em risco a sustentabilidade da atividade citrícola devido ao aumento dos custos de produção e queda na produtividade (NEVES; LOPES, 2005). Um dos fatores apontados como responsáveis por favorecer a disseminação e incidência de doenças nos pomares foi o emprego de mudas produzidas a céu aberto, dada a impossibilidade de se produzir material propagativo seguramente isento de patógenos transmitidos por insetos vetores, como a bactéria *Xylella fastidiosa* transmitida por cigarrinhas (CARVALHO; GRAF; VIOLANTE, 2005). Desta forma, com o objetivo de proporcionar ao setor citrícola o fornecimento de material propagativo com segurança fitossanitária, além de maior controle sobre a origem genética dos materiais utilizados, adotaram-se a partir de 1 de janeiro de 2003 a produção e comercialização obrigatória de mudas e porta-enxertos cítricos provenientes de ambiente protegido no Estado de São Paulo. Atualmente, a produção de mudas cítricas é regulamentada a nível estadual pelas portarias CDA 5 e 23, respectivamente publicadas em 03/02/05 e 13/06/05, além da regulamentação a nível federal pela Lei 10.711 de 05/08/03 (COORDENADORIA DE DEFESA VEGETAL, 2008; DELEGACIA FEDERAL DA AGRICULTURA NO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008)

O setor de viveiros movimentou US\$ 17,1 milhões em 2003, sendo 70% dos viveiros de pequeno porte (até 20.000 mudas) (NEVES; LOPES, 2005). O custo de produção das mudas

cítricas girava em torno de R\$ 3,50/unidade em maio de 2008¹ (informação verbal). Mão-de-obra e substrato são os dois principais componentes do custo, que é diretamente afetado pelo descarte de mudas no viveiro (POZZAN; KANASHIRO, 2004). Até maio de 2008, produziam-se cerca de 19,5 milhões de mudas e 14 milhões de porta-enxertos em 544 viveiros paulistas, sendo a totalidade da produção em ambiente telado e concentrada nas regiões Sul e Norte do Estado (FUNDECITRUS, 2008). Do total de mudas enxertadas, 30,1% correspondiam ao cultivar laranja ‘Valência’ [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck], seguido por laranja ‘Pêra’ (26,3%). A laranja ‘Valência’ é provavelmente originária de Portugal (HODGSON, 1967), sendo cultivar para uso industrial por excelência, além de ter boa aceitação pelo mercado de fruta fresca, apresentar boa persistência de frutos na árvore mesmo após maturação e ainda não apresentar incompatibilidade com alguns porta-enxertos comerciais, como ocorre com a laranja ‘Pêra’ (PIO et al., 2005). Com relação aos porta-enxertos, em maio de 2008, limão ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck) era utilizado em 70,6% das mudas enxertadas, seguido pelo citrumelo ‘Swingle’ (17,2%) (FUNDECITRUS, 2008). O limão ‘Cravo’ trata-se de um lemandarim, híbrido natural com centro de origem na Índia (HODGSON, 1967). Este porta-enxerto ainda representa 70% do parque citrícola brasileiro instalado, sendo preferido devido sua tolerância ao vírus da Tristeza (CTV) e à deficiência hídrica, bem como pela precocidade da produção, sendo esta relativamente alta (POMPEU JUNIOR, 2005). Contudo, devido sua susceptibilidade à MSC e ao aumento da área irrigada no Estado, outros porta-enxertos passaram a ser cultivados visando maior diversificação dos pomares (BOVÉ; AYRES, 2007). Dentre as alternativas, vem se destacando o citrumelo ‘Swingle’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf x *Citrus paradisi* Macf], porta-enxerto obtido em programa de melhoramento da Universidade da Califórnia e que induz melhor qualidade à fruta, além de apresentar tolerância à MSC, CTV, gomose de colo de *Phytophthora* spp. e nematóides dos citros (POMPEU JUNIOR, 2005). Como desvantagens, esse porta-enxerto é sensível à alcalinidade do solo e à seca, em condições de campo.

No sistema de produção de mudas cítricas em ambiente fechado, novas técnicas de manejo são requeridas para a otimização do processo produtivo, desde tratos culturais como método de condução de enxertia, emprego de reguladores vegetais até nutrição mineral e fertirrigação (BOAVENTURA et al., 2004; CARVALHO; GRAF; VIOLANTE, 2005; GIRARDI

¹ CORTE, R.D. SaniCitrus Mudas Cítricas.

et al., 2005). O manejo da irrigação, dentro da produção de mudas, constitui um dos pontos determinantes para o sucesso do empreendimento, especialmente quando se trata de plantas com sistema radicular confinado em containeres (HARTMANN et al., 2002), sendo fundamental também para as plantas cítricas. Através do manejo da irrigação é possível regular a velocidade de crescimento e o balanço parte aérea:sistema radicular das plantas produzidas, além de influenciar nos índices de descarte de mudas no viveiro bem como na performance pós-plantio a campo (LIPTAY; SIKKEMA; FONTENO, 1997). De acordo com as atuais normas de produção de mudas cítricas, é obrigatório o uso de substratos livres de patógenos, pragas e ervas daninhas aos citros, sem solos na sua constituição (COORDENADORIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA, 2008). Os substratos comerciais utilizados em São Paulo são produzidos a base de duas matérias-primas principais, casca decomposta de pinus ou fibra de coco (TAVEIRA, 2001). As propriedades físicas do substrato têm efeito direto sobre o manejo da irrigação e, conseqüentemente, no desenvolvimento de mudas (ARBONA et al., 2005). Para estes dois tipos de matéria-prima, existe água disponível às plantas somente no intervalo de potencial hídrico de -0,05 (capacidade de container ou abaixo da saturação) a -30,00 KPa, sendo que abaixo de -16,00 KPa começam a ocorrer déficit hídrico e depleção do crescimento vegetal (ARGO, 1997). Casca de pinus e fibras naturais também apresentam reduzida higroscopicidade, estando sujeitos a dessecação na ausência de irrigação adequada e, assim, potencializando os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas. Estudos realizados no Brasil indicam que mudas e porta-enxertos cítricos produzidos em recipientes contendo tanto casca de pinus como fibra de coco apresentam máximo crescimento vegetativo sempre que o substrato é mantido na capacidade de container ou mesmo acima da saturação, embora existam um elevado risco fitossanitário e dificuldades operacionais na manutenção destas condições (OLIC et al., 2001; ZANETTI et al., 2003). As variáveis climáticas dentro de estufas teladas também contribuem para determinar condições em que a menor umidade do substrato implica em maior deficiência hídrica e prejuízo ao desempenho fisiológico das mudas cítricas (MEDINA et al., 2002).

As relações hídricas têm papel primordial na eficiência de diferentes processos fisiológicos de plantas cítricas, influenciando diretamente parâmetros hortícolas (MEDINA et al., 2005). A regulação dos ciclos vegetativos e reprodutivos em pomares adultos, e mesmo do desenvolvimento de mudas em containeres, é determinado pelo regime de chuvas ou irrigação,

existindo mecanismos de interação entre deficiência hídrica (fator exógeno) e balanço hormonal e de carboidratos na planta (fatores endógenos) (KOSHITA; TAKAHARA, 2004; MAHOUACHI et al., 2005; MATAA; TOMINAGA; KOZAKI, 1998). As plantas cítricas apresentam uma série de adaptações morfológicas e fisiológicas para condições de seca ou deficiência hídrica, desde conformação de copa, presença de cutícula foliar e presença de metabólitos com função osmorreguladora (HOCKEMA; ETXEBERRIA, 2001; SAVÉ et al., 1995). Por exemplo, a prolina, sintetizada a partir do aminoácido glutamato, é o aminoácido livre mais abundante em citros (ERICKSON, 1968). Seu acúmulo em tecido vegetal, principalmente nas folhas, é um indicador de resistência à deficiência hídrica na maioria das espécies vegetais e também nos citros (ALI et al., 2008; KOICHEVA; GEORGIEV, 2008; NOLTE; HANSON; GAGE, 1997), sendo inclusive utilizado como ferramenta para melhoramento de porta-enxertos por transgenia no Brasil (MOLINARI et al., 2004). A resistência à seca é um das características para seleção e melhoramento de porta-enxertos, existindo grande variação desta resposta entre as espécies e variedades cítricas (BARRY; CASTLE; DAVIES, 2004; POMPEU JUNIOR, 2005).

O comportamento das plantas cítricas frente à deficiência hídrica varia conforme a fase fenológica da cultura (GINESTAR; CASTEL, 1996). As respostas à deficiência hídrica também são diferentes entre plantas cítricas adultas e *seedlings*, sendo os últimos mais tolerantes à seca (ESPELETA; EISSENSTAT, 1998). O sistema radicular de *seedlings* de citros apresenta comportamento distinto em suas diferentes profundidades (KOSOLA; EISSENSTAT, 1994), sendo que a seção superior é capaz de suportar períodos longos sob seca. Esse efeito poderia ser potencializado em plantas em recipientes. Uma resposta fisiológica recorrente dos citros, sejam indivíduos adultos ou mudas, quando submetidos a freqüentes ciclos de deficiência hídrica e rehidratação é a abscisão foliar, decorrente do metabolismo e transporte de ácido abscísico do sistema radicular para a parte aérea (ARBONA et al., 2005; RUIZ-SÁNCHEZ et al., 1997). Este comportamento acarreta prejuízos à eficiência fotossintética e crescimento das plantas.

Pesquisas acerca de respostas fisiológicas de plantas sob deficiência hídrica utilizam freqüentemente osmólitos artificiais adicionados ao substrato por meio de soluções nutritivas, uma vez que estas substâncias permitem fixar um determinado potencial da água no meio por tempo indeterminado, o que não pode ser reproduzido pela interrupção natural da irrigação (ZEKRI; PARSONS, 1990). Um dos principais osmólitos empregados nesses casos é o

polietileno glicol ou PEG (AHMAD; JAVED; ASHRAF, 2007; FALTENOVICH; WELBAUM, 2008; KOICHEVA et al., 2007; ZHAO et al., 2006). O PEG consiste em um polímero de óxido de etileno de cadeia longa ($C_{2n+2}H_{4n+6}O_{n+2}$), inerte e não iônico, comercializado em diferentes pesos moleculares (STEUTER; MOZAFAR; GOODIN, 1981), cuja ação é atribuída ao bloqueio da absorção de água e conseqüente dessecação da planta (LAWLOR, 1970). O PEG já foi utilizado para avaliação de porta-enxertos cítricos com relação a respostas à deficiência hídrica em containeres (ZEKRI, 1991; ZEKRI, 1993). Entretanto, não há estudos envolvendo PEG e avaliação de plantas cítricas enxertadas, além de existirem indícios sobre possível efeito tóxico que ultrapassa os efeitos osmóticos sobre plantas cítricas (ZEKRI, 1995). Outra tendência nos estudos sobre deficiência hídrica é o uso de variáveis fisiológicas obtidas *in situ* das próprias plantas, como fluxo de seiva e variação no diâmetro de tronco (ORTUÑO et al., 2005, 2006). Essas variáveis podem funcionar como sinalizadores da necessidade da irrigação, dada a importância do seu manejo nos diferentes sistemas de produção de citros (SILVA et al., 2005)

A escassez crescente de água e a competição com outros setores econômicos e sociais interferem na gestão da irrigação agrícola. Neste panorama, o conceito de irrigação deficitária vem crescendo nos sistemas de produção de diferentes espécies cultivadas, inclusive os citros (GEERTS et al., 2008; PEREZ-PEREZ et al., 2008). A irrigação deficitária se baseia em três estratégias: suprimento constante de água abaixo da evapotranspiração, aplicação de água restrita a períodos críticos do ciclo produtivo e secagem parcial da zona radicular (COSTA; ORTUÑO; CHAVES, 2007). Para que esta técnica seja aplicável, no entanto, devem ser previamente estabelecidos conhecimentos profundos acerca da fisiologia e anatomia da espécie de interesse, uma vez que estes parâmetros podem ser distintamente alterados pelo déficit hídrico (SHAO et al., 2008). Estudos envolvendo deficiência hídrica e fisiologia de plantas cítricas produzidas em recipientes são pouco freqüentes no exterior e especialmente no Brasil, a despeito da importância crescente do sistema de produção de mudas em ambiente telado nos principais países produtores (ARBONA et al., 2005; GRASER; ALLEN, 1988; MEDINA, 1997). Desta forma, julgam-se essenciais estudos que avaliem o efeito da deficiência hídrica sobre o desenvolvimento vegetal e variáveis fisiológicas de mudas cítricas em recipientes, de forma a ampliar os conhecimentos sobre os diferentes aspectos da produção e comportamento das plantas cítricas jovens nestas condições, e fomentar as práticas de irrigação sob cultivo protegido.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

2.1.1 Experimento envolvendo PEG como osmólito

O trabalho foi conduzido em estufa comercial telada para produção de mudas cítricas, localizada no município de Araras, SP, 22° 25' 15" S, 47° 23' 03" W, distante 70 km a noroeste de Piracicaba. O clima da região é do tipo Cwa, e verificaram-se no interior da estufa temperaturas máximas e mínimas (médias) no verão e no inverno de, respectivamente, 40,5 e 18,6°C e 34,6 e 13,5°C, e umidade relativa média no verão e no inverno de, respectivamente, 56 e 68%, entre setembro de 2006 e fevereiro de 2008.

Os porta-enxertos avaliados foram limão 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) e citrumelo 'Swingle' (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf x *Citrus paradisi* Macf). A variedade copa avaliada foi a laranja 'Valência' (*Citrus sinensis* L. Osbeck). Porta-enxertos produzidos em tubetes plásticos de 75 mL, contendo substrato comercial a base de fibra de coco (Golden Mix™, Amafibra, São Paulo), foram transplantados para sacolas de polietileno de 4,5 L, contendo substrato comercial a base de casca de pinus (Rendmax Citros™, Eucatex, São Paulo), em setembro de 2006, e conduzidos por quatro meses até a enxertia em dezembro de 2006. Os tratos culturais adotados foram baseados nas recomendações técnicas definidas para o sistema de produção de mudas de citros em telados (CARVALHO; GRAF; VIOLANTE, 2005). A enxertia foi realizada em dezembro de 2006, sendo do tipo borbulhia em T invertido, 15 cm acima do colo da planta, com a retirada do fitilho plástico 20 dias após. O método de forçamento da enxertia foi o curvamento da copa do porta-enxerto.

Até o início das avaliações, a irrigação foi manual e diária para manter a umidade do substrato em sua capacidade de container, utilizando-se do método de pesagem de sacolas (SOARES, 2003). O programa nutricional adotado neste período consistiu em fertirrigação diária com solução nutritiva (mg L^{-1}) composta por N (300,00); P (50,00); K (200,00); Ca (200,00); Mg (50,00); S (70,00); B (0,35); Fe (3,00); Cu (8,50); Zn (4,50); Mn (0,65) e Mo (0,07) (GIRARDI et al., 2005). Após o início das avaliações, logo depois da retirada do fitilho de enxertia, a fertirrigação foi interrompida e se realizou uma aplicação em cobertura de fertilizante de

liberação lenta 22-04-08, na concentração de $2,5 \text{ kg m}^{-3}$ de substrato, em todas as plantas, não sendo mais efetuadas adubações até o encerramento do experimento (Figura 1).

A deficiência hídrica foi induzida em fases distintas de crescimento (Fases 1 e 2) e no somatório destas duas fases (Fase 3), dentro do ciclo de produção de mudas cítricas, a saber:

Fase 1 [Primeiro fluxo de crescimento: entre a retirada do fitilho que recobre a borbulha, e a maturação do primeiro fluxo de crescimento]. A duração aproximada desta fase foi de 60 dias, período durante o qual foi aplicada a deficiência hídrica. Após este período, a capacidade de container foi re-estabelecida até o final das avaliações.

Fase 2 [Segundo fluxo de crescimento: entre a maturação do primeiro fluxo de crescimento, ou seja, aproximadamente 70 dias após a enxertia, e a maturação do segundo fluxo de crescimento, ou seja, aproximadamente 140 dias após a enxertia]. Assim, a duração aproximada desta fase também foi de 60 dias, período durante o qual foi aplicada a deficiência hídrica. Até este momento, as plantas eram mantidas sem deficiência hídrica. A obtenção de muda apta à comercialização em geral ocorre após a maturação do segundo fluxo de crescimento do enxerto (CARVALHO; GRAF; VIOLANTE, 2005). Desta forma, as avaliações foram encerradas no final desta fase.

Fase 3 [Deficiência hídrica induzida seqüencialmente nas Fases 1 e 2]. A duração total da deficiência hídrica foi de 120 dias (60 dias durante a Fase 1 e 60 dias durante a Fase 2).

Os tratamentos referentes ao método de indução de deficiência hídrica foram:

T1 [Controle]. Plantas não submetidas à deficiência hídrica. A umidade do substrato foi mantida em 100% da capacidade de container pela reposição diária da evapotranspiração, determinada pela diferença entre a massa média de 72 sacolas. Inicialmente, a evapotranspiração no período seria calculada pelo somatório das lâminas aplicadas diariamente, descontando-se a lâmina de lixiviação. Contudo, houve grande variação na lâmina de irrigação diária entre as sacolas, o que levou a dificuldades operacionais para a aplicação manual da irrigação diária. Adotou-se, então, como padrão a irrigação de 300 mL por planta por dia. Este volume de irrigação foi determinado com base nas primeiras avaliações de evapotranspiração, pois, verificou-se que a capacidade de container do substrato foi atingida com este manejo, sendo possíveis excedentes lixiviados. Uma lâmina de 130 ml dia^{-1} é recomendada para a produção adequada de porta-enxertos de limão ‘Cravo’ sem risco de baixa disponibilidade de água às

plantas (MOURÃO FILHO et al., 2007). Este manejo facilitou sobremaneira a condução do experimento, sem comprometimento dos objetivos iniciais do trabalho.

A massa média das 72 sacolas – três repetições para cada um dos 24 tratamentos – foi registrada no período de forma a caracterizar a dinâmica da água no substrato para cada tratamento durante o período experimental. Estas informações foram empregadas para auxiliar na análise dos dados referente às variáveis de crescimento vegetativo, fisiológicas e de produção comercial das mudas cítricas.

T2 [Plantas submetidas à deficiência hídrica por solução acrescida de polietileno glicol (PEG) 4000 (75 g L^{-1}), ajustada para potencial osmótico de -15kPa] (MICHEL; KAUFMANN, 1973; STEUTER; MOZAFAR; GOODIN, 1981; ZEKRI, 1991). A solução foi fornecida diariamente como descrita para T1, com a manutenção do substrato em capacidade de container. Para se evitar um choque de concentração osmótica, a solução foi aplicada gradualmente com -5 , -10 e -15kPa na primeira semana de tratamento. Este potencial da água representa condições de deficiência hídrica suave a moderada que podem ocorrer em viveiros comerciais (ARGO, 1997). Este tratamento foi aplicado isoladamente nas Fases 1, 2 e 3 de produção das mudas, respectivamente, por 60, 60 e 120 dias, com cinco repetições por tratamento. Essa solução de PEG 4000 apresentou pH e condutividade elétrica de $6,96$ e $0,223 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente.

T3 [Plantas submetidas à deficiência hídrica por solução acrescida de polietileno glicol (PEG) 4000 (110 g L^{-1}), ajustada para potencial osmótico de -25kPa]. A solução foi fornecida diariamente como descrito para T1. A solução foi aplicada gradualmente com -5 , -10 , -15 , -20 e -25kPa na primeira semana de tratamento. Este potencial da água representa aproximadamente condições de deficiência hídrica intensa, em cultivo protegido. A aplicação deste tratamento foi realizada conforme descrito para T2. Essa solução de PEG 4000 apresentou pH e condutividade elétrica de $7,21$ e $0,192 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente.

T4 [Plantas submetidas à deficiência hídrica pela interrupção da irrigação até o potencial hídrico do substrato atingir -15kPa , medido por tensiometria com sensor eletrônico Irrigás™ (Hidrosense, Jundiaí) (CALBO; SILVA, 2005), ou até ocorrer murcha pronunciada das folhas (Figura 2). O monitoramento da umidade do substrato se deu pelo uso de 15 sensores na área experimental, realizando-se a irrigação quando 60% dos sensores acusavam o potencial hídrico determinado. Ao atingir esta(s) fase(s), houve reposição da água de modo a saturar o substrato e

retornar para a capacidade de container]. Este processo foi repetido quantas vezes fossem necessárias, durante 60 dias ou 120 dias, conforme a fase de produção avaliada. O número e a duração de ciclos de irrigação/interrupção da irrigação foram computados. Este tratamento foi aplicado nas Fases 1, 2 e 3 de produção das mudas, com cinco repetições por tratamento.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, seguindo o esquema fatorial 2 x 3 x 4 (porta-enxerto x fase de crescimento x deficiência hídrica), perfazendo 24 tratamentos em cinco repetições. A parcela experimental foi constituída de seis plantas, sendo analisadas três plantas por parcela em cada fase de crescimento da muda para as avaliações das variáveis biométricas, fisiológicas e de produção. As plantas foram dispostas linearmente em bancadas, justapostas para facilitar o arranjo na bancada e simular as condições de produção comercial de mudas de citros. No total, foram utilizadas 720 plantas. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), utilizando-se a transformação do tipo arco seno $\{\sqrt{[(x + \alpha)/100]}\}$ para variáveis medidas em termos percentuais, e transformação logarítmica para homogeneizar a variância quando necessário.

Os porta-enxertos utilizados neste experimento foram caracterizados no momento da enxertia. Avaliaram-se altura (cm), diâmetro (mm) na altura da enxertia (15 acima do colo), número de folhas, comprimento (cm) de internódio, área foliar total (m^2), massa foliar específica ($g\ cm^{-2}$), massa (g) de matérias fresca e seca e concentração de carboidratos totais e açúcares redutores ($mg\ 100mL^{-1}$ em 100% de matéria seca) em folhas, caule e sistema radicular, com dez repetições por tratamento. Amostras dos tecidos vegetais foram submetidas a $65^\circ\ C$ por 96 horas em estufa, sendo depois trituradas em moinho elétrico modelo MA 680 (Marconi, Piracicaba), com peneira de 0,8 mm e enviadas ao laboratório de Nutrição Animal do CENA/USP para determinação da concentração dos carboidratos solúveis totais e açúcares redutores (DUBOIS et al., 1956). As médias das variáveis dos dois porta-enxertos foram comparadas pelo teste t de Student para dados não pareados ($P \leq 0,05$).

A umidade relativa e temperatura foram registradas durante o período de condução do experimento, pelo uso de termohigrômetro disposto no centro da área experimental a 1,5m de altura do solo. As medidas foram tomadas diariamente às 9:00h. A curva de retenção de água do substrato utilizado foi determinada por gravimetria, a partir de três amostras compostas de

substrato, para permitir discussão sobre o potencial da água e o teor de umidade no substrato. A eletrocondutividade e o pH do substrato foram monitorados periodicamente pela coleta de água drenada, com medição em condutivímetro de bancada (DM-3, Digimed, São Paulo).



Figura 1 – Aplicação de fertilizante de liberação lenta na concentração de $2,5 \text{ kg m}^{-3}$ de substrato, antes do início das avaliações. Observar enxertia do tipo T-invertido. Araras, 2006



Figura 2 – Sensor Irrigás[®] empregado para monitoramento de potencial hídrico do substrato por tensiometria (esquerda). Instalação do sensor em sacola de muda cítrica (direita). Araras, 2007

Os resultados foram analisados a partir da avaliação de variáveis de crescimento vegetal e variáveis fisiológicas, além de variáveis de produção comercial de mudas, coletadas durante o primeiro fluxo de crescimento das mudas após a enxertia, a saber:

- Altura (cm) de plantas, medida com régua a partir do ponto de enxertia até ápice do enxerto;
- Diâmetro (cm) de caule do porta-enxerto e do enxerto, medido com paquímetro, respectivamente, 5 cm acima e abaixo do ponto de enxertia;
- Número (unidade) de folhas da muda enxertada, realizada por contagem direta;
- Comprimento (cm) médio de internódio da muda enxertada;
- Percentagem (%) de brotação de enxertia e de borbulhas mortas, 15 dias depois da retirada do fitilho que recobre a borbulha, por contagem direta;
- Volume (mL) do sistema radicular, pelo método de deslocamento de volume de água em proveta (BERNARDI; CARMELLO; CARVALHO, 2000);
- Abscisão foliar (%), medida pelo número acumulado de folhas caídas ao final de cada período de deficiência hídrica e após reposição da umidade no substrato (ARBONA et al., 2005a);
- Massa (g) de matérias fresca e seca do sistema radicular, caule do porta-enxerto, caule do enxerto e das folhas, coletando-se três plantas após o término do primeiro fluxo de crescimento das mudas. As mesmas três plantas foram aproveitadas para a determinação das variáveis de volume de sistema radicular e relação raiz:copa;
- Área foliar total (m²) de mudas, medida em planímetro eletrônico (LI-3100, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA), sendo para isto coletadas três folhas maduras por parcela (uma folha por fase/planta). O valor de área foliar total foi obtido pela equação:

$$AFt = \frac{AFa \times MSt}{MSa} \text{ em que:}$$

AFt é a área foliar total; AFa é a área foliar média das quinze folhas amostradas; MSt é a matéria seca total das folhas; e MSa é a matéria seca média das quinze folhas amostradas;

- Massa foliar específica (g dm⁻², em base de massa de matéria seca) da muda enxertada. As mesmas folhas utilizadas para determinação da área foliar e massa de matérias fresca e seca foram empregadas para medição desta variável;
- Relação raiz:copa (g g⁻¹, em base de massa de matéria seca);

- Percentagem de mudas aptas à expedição, calculada como parâmetro de produção comercial de mudas cítricas, logo após o primeiro fluxo de crescimento do enxerto, considerando-se como muda apta aquela que apresentasse uma altura total correspondente a 45 cm a partir do colo do porta-enxerto;
- Potencial hídrico de folhas (MPa). As medidas foram realizadas em folhas maduras totalmente expandidas, localizadas no terço superior da muda e envolvidas por filme plástico para evitar transpiração. As folhas foram coletadas às 6h e às 14h, respectivamente no *predawn* e ponto de máximo estresse (PME), para medição do potencial hídrico em câmara de pressão do tipo Scholander modelo 3005 (Soil Moisture Equipment Co., Santa Bárbara, CA, EUA), repetindo-se por cinco dias consecutivos. As folhas foram mantidas no escuro, em isopor refrigerado, até se proceder a leitura, depois da retirada do filme plástico. Para esta variável, foram avaliados oito tratamentos, em delineamento fatorial 2 x 4 (porta-enxerto x deficiência hídrica), uma vez que os tratamentos referentes à deficiência hídrica nas Fases 1 e 3 foram os mesmos durante este período (primeiro fluxo de crescimento das mudas). Foram realizadas 15 repetições por tratamento (15 folhas obtidas aleatoriamente de plantas diferentes, sendo três folhas por período do dia e tratamento). Imediatamente antes da leitura, retiraram-se os pecíolos das folhas e se realizou um corte longitudinal em cada lado do limbo, paralelamente e a cerca de 2 cm da nervura central, para adequada inserção da folha no orifício da câmara de pressão. Este procedimento, adaptado de Kaufmann (1968), é usualmente empregado para avaliação de potencial hídrico no equipamento pertencente ao Departamento de Irrigação e Drenagem da ESALQ/USP, sendo descrito detalhadamente por Melo, Gruber e Coelho (2007), que constaram sua eficácia e alta correlação com potencial hídrico de folhas e ramos. Esta metodologia foi desenvolvida mediante a dificuldade em se obter vedação adequada do orifício próprio para ramos, de formato circular, sem que haja estrangulamento no caso de pecíolos de citros, que não são cilíndricos e se apresentam alados. Assim, seria possível utilizar-se do orifício laminar, próprio para limbo foliar de gramíneas, mediante os cortes laterais no caso de folhas de citros;

As variáveis analisadas no segundo fluxo de crescimento das mudas, de 60 a 120 dias após a enxertia, foram:

- Altura (cm) de plantas, medida com régua a partir do ponto de enxertia até ápice do enxerto;

- Diâmetro (cm) de caule do porta-enxerto e do enxerto, medido com paquímetro, respectivamente, 5 cm acima e abaixo do ponto de enxertia, número (unidade) de folhas da muda enxertada, realizada por contagem direta, e comprimento (cm) médio de internódio;
- Abscisão foliar (%), medida pelo número acumulado de folhas caídas ao final de cada período de deficiência hídrica e após reposição da umidade no substrato (ARBONA et al., 2005a);
- Massa (g) de matérias fresca e seca do sistema radicular, caule do porta-enxerto, caule do enxerto e das folhas, coletando-se as últimas três plantas restantes na parcela, ao término do segundo fluxo de crescimento das mudas;
- Área foliar (m^2) e massa foliar específica ($g\ dm^{-2}$) da muda enxertada. As mesmas folhas utilizadas para determinação da área foliar e massa de matérias fresca e seca foram empregadas para medição desta variável;
- Relação raiz:copa ($g\ g^{-1}$) e volume de sistema radicular (mL);
- Percentagem de mudas aptas à expedição, calculada como parâmetro de produção comercial de mudas cítricas, considerando-se como muda apta aquela que apresentasse uma altura total correspondente a 45 cm a partir do colo do porta-enxerto;
- Concentração foliar ($mg\ kg^{-1}$) de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Fe, Mn, Zn e Cu) das mudas após segundo fluxo de crescimento do enxerto, ou seja, ao final do período de avaliação. Para isto foram coletadas 18 folhas totalmente expandidas e maduras (cerca de 5 meses de idade) por repetição (seis folhas/planta), em um total de três blocos. A metodologia para análise química foi de acordo com Raij (1991);
- Potencial hídrico de folhas (MPa). Os mesmos procedimentos descritos para o primeiro fluxo de crescimento foram adotados. Neste caso, foram avaliados 24 tratamentos, em delineamento fatorial $2 \times 3 \times 4$ (porta-enxerto \times fase de crescimento \times deficiência hídrica);
- Condutância estomática ($mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), taxa de assimilação líquida de CO_2 ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), transpiração ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$), temperatura (graus Celsius) e eficiência do uso da água (WUE, $\mu mol\ CO_2\ mmol^{-1}\ H_2O$) de folhas das mudas ao final da maturação do segundo fluxo de crescimento. Nos tratamentos em que houve deficiência hídrica, as medidas foram efetuadas durante o período de máximo estresse hídrico. As medidas foram realizadas na face ventral de folhas maduras totalmente expandidas, localizadas no terço superior da muda, correspondentes ao 3º ou 4º internódio do segundo fluxo de crescimento a partir de sua base.

Utilizou-se um analisador portátil de fotossíntese por radiação infravermelha (LI-6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA). Durante as medições, o equipamento foi ajustado para trabalhar com radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de $1.000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e fluxo de ar de $350 \mu\text{mol s}^{-1}$. Medidas foram realizadas entre 08:00 e 12:00h, e repetidas por três dias consecutivos. Foram avaliados todos os tratamentos, com seis repetições (uma folha/repetição, folhas obtidas aleatoriamente de plantas diferentes). Dados pontuais referentes à temperatura e déficit de pressão de vapor atmosférico (médios) durante as medições foram computados. Para se minimizar o efeito da variação destas condições sobre os tratamentos, em cada dia procedeu-se a uma diferente ordem de leitura das medidas. Por exemplo, na primeira repetição, realizaram medidas a partir do tratamento 1 ao 24 em ordem crescente, na segunda repetição procedeu-se à ordem decrescente, em seguida tratamentos pares e depois ímpares, e assim por diante;

- Concentração foliar de clorofila (SPAD), após segundo fluxo de crescimento das mudas, medida com clorofilômetro (Spad-502, Minolta Inc., Philadelphia, USA), em seis folhas maduras (duas folhas/planta) por repetição, situadas no terço superior da muda;
- Concentração de amido em folhas, caule de enxerto e sistema radicular de mudas ao final do segundo fluxo de crescimento (junho de 2007), somente para plantas submetidas ou não a estresse durante a Fase 3 (todo o ciclo produtivo). Foram empregadas três repetições, cada uma constituída por três plantas divididas por órgão vegetal. As plantas foram coletadas entre 09:00 e 11:00 horas. Os materiais foram secos a 80°C por 72 horas para paralisação imediata de processos bioquímicos envolvendo os carboidratos, e posteriormente triturados em moinho elétrico MA 680, com peneira de 0,8 mm. Do total obtido por repetição, foram coletadas amostras correspondentes a 30 mg de matéria seca de folhas e 50 mg de matéria seca de caule de enxerto e de sistema radicular, acondicionadas em sacos de papel e mantidas a 5°C . Após extração alcoólica a 75°C de substâncias solúveis (sete extrações para folha, seis para caule e cinco para raiz), o resíduo foi liofilizado e alíquotas de 10 mg foram obtidas para as análises. A determinação da concentração de amido foi conduzida no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Botânica, do Instituto de Biociências da USP, em São Paulo, por método enzimático e colorimétrico (AMARAL et al., 2007). Curvas foram construídas a partir dos padrões de amido 0, 5, 10, 15 e 20 μg (Figura 3);

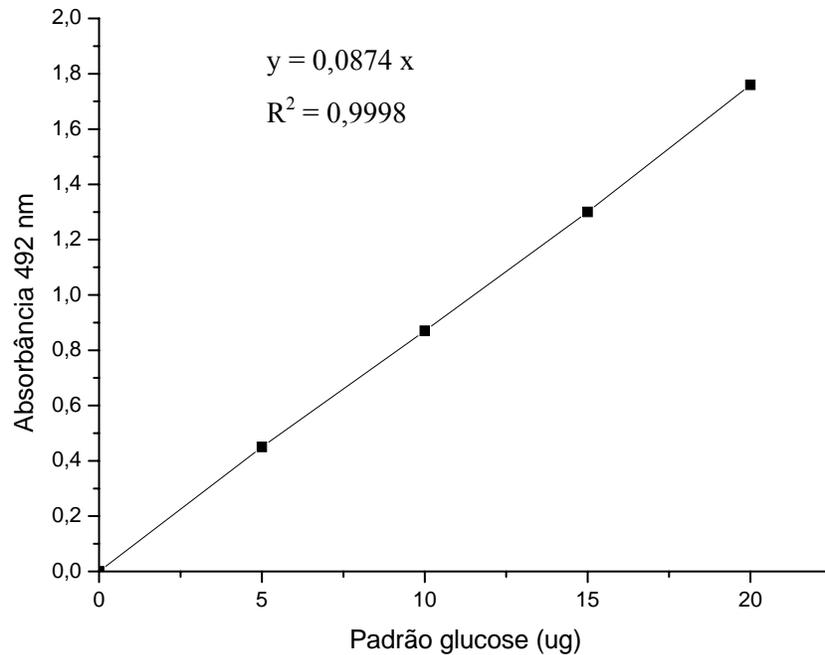


Figura 3 – Curva-padrão para determinação de concentração de amido em material vegetal de citros. São Paulo, 2007

- Concentração de açúcares não redutores (sacarose) e redutores (glucose e frutose) e relação fonte:dreno em folhas, caule de enxerto e sistema radicular de mudas ao final do segundo fluxo de crescimento (junho de 2007), somente para plantas submetidas ao estresse durante a Fase 3. As mesmas amostras empregadas para determinação de amido foram utilizadas nessas análises, no mesmo laboratório. O método empregado foi a extração alcoólica, seguida de extração da clorofila por clorofórmio (amostras de folhas apenas) e re-suspensão em água, para determinação da concentração por cromatografia líquida de alta performance do tipo troca iônica (HPLC DX-500, Dionex Corporation, Sunnyvale, CA, USA), em relação a cromatogramas de concentrações conhecidas de carboidratos (DIONEX CORPORATION, 2000). A coluna de troca iônica utilizada foi CarboPack PA-1, com eluentes NaOH 50% e água milli-Q 50%, em fluxo contínuo de 1,0mL min⁻¹;
- Concentração foliar de prolina das mudas ($\mu\text{M g}^{-1}$ MF), após segundo fluxo de crescimento (final das avaliações), seguindo a metodologia de Bates, Waldren e Teare (1973). Curva-padrão foi construída a partir dos padrões de prolina 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 mg L⁻¹. As amostras foram coletadas por volta das 9:00h. Três folhas maduras totalmente expandidas (uma folha/planta) foram amostradas por repetição, para todos os 24

tratamentos, com três repetições. As análises foram conduzidas a partir de amostras compostas de material fresco de, aproximadamente, 350 mg.

2.1.2 Experimento envolvendo exclusivamente interrupção da irrigação como método de indução de deficiência hídrica

As mesmas atividades descritas para o item 2.1.1 foram aplicadas nesse segundo experimento. No entanto, os tratamentos envolvendo o uso de PEG como osmólito foram excluídos, em função dos resultados parciais obtidos no primeiro experimento. Por outro lado, adicionou-se um novo tratamento, em que a deficiência hídrica foi induzida pela interrupção da irrigação até o potencial hídrico do substrato atingir -25kPa, medido por tensiometria com sensor eletrônico Irrigás™. Este potencial representa condições de deficiência hídrica severa em cultivo protegido. Os demais procedimentos analíticos, tratos culturais e fases avaliadas para crescimento de mudas foram mantidos.

Os porta-enxertos utilizados neste experimento foram selecionados de tal modo que seu desenvolvimento inicial era similar e uniforme como já descrito para os porta-enxertos empregados no experimento anterior, envolvendo PEG. A enxertia foi realizada em 18 de junho de 2007, cerca de 3,5 meses após o transplante dos porta-enxertos, com a retirada do fitilho 20 dias depois. Assim, a indução de deficiência hídrica iniciou-se em julho de 2007.

O delineamento experimental adotado neste experimento foi o de blocos ao acaso, seguindo o esquema fatorial 2 x 3 x 3 (porta-enxerto x fase de crescimento x deficiência hídrica), perfazendo 18 tratamentos em seis repetições. A parcela experimental foi constituída de seis plantas, sendo analisadas três plantas por parcela em cada fase de crescimento da muda para as avaliações das variáveis biométricas, fisiológicas e de produção. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), utilizando-se a transformação do tipo arco seno $\{\sqrt{[(x + \alpha)/100]}\}$ para variáveis medidas em termos percentuais, e transformação logarítmica para homogeneizar a variância quando necessário.

Com relação às variáveis analisadas, destaca-se que as medidas de fotossíntese e concentração de carboidratos foram realizadas tanto no primeiro como no segundo fluxo de

crescimento das mudas. Outras informações relevantes quanto a alterações nas metodologias para esse segundo experimento são:

- Percentagem de plantas apresentando dois fluxos de crescimento: como durante as medições de altura observou-se que muitas plantas não apresentavam um segundo fluxo de crescimento, e que havia tendência de um padrão de comportamento, computou-se a percentagem de plantas com dois fluxos 120 dias após a retirada do fitilho de enxertia;
- Pelas mesmas razões, também se realizou a comparação entre áreas foliares individuais, ou seja, por tamanho de limbo por porta-enxerto e manejo, além da área foliar total por tratamento, conforme descrito em 2.1.1. Essas avaliações foram realizadas ao final dos dois fluxos de crescimento do enxerto;
- Potencial hídrico de folhas: neste experimento, foram realizadas medições em seis repetições por período (predawn e PME) e dia, durante quatro dias, totalizando-se 24 observações por tratamento (24 folhas diferentes por período do dia). Os dados foram analisados considerando-se um dia como bloco (média das seis medições em cada um dos quatro blocos), como também dentro de cada dia (seis repetições por tratamento e período);
- Com relação às variáveis de fotossíntese durante o primeiro fluxo de crescimento, como os tratamentos referentes às Fases 1 e 3 se equivaliam durante esse período, foram avaliados apenas seis tratamentos, em delineamento fatorial 2 x 3 (porta-enxerto x intensidade de deficiência hídrica), durante três dias, sendo no total 18 repetições por tratamento (seis avaliações por dia e tratamento). Durante o segundo fluxo de crescimento, procedeu-se como descrito em 2.1.1;
- Uma avaliação adicional de medidas de fotossíntese também foi realizada ao final do segundo fluxo de crescimento, comparando-se folhas do primeiro e segundo fluxos de crescimento. Neste caso, avaliaram-se quatro folhas por idade, conforme descrito no item 2.1.1, para ambos os porta-enxertos, durante a Fase 3 de indução de estresse;
- Concentração de clorofila: ao final do experimento realizaram-se medidas tanto em folhas pertencentes ao primeiro fluxo quanto ao segundo fluxo de crescimento;
- Concentração de prolina: ampliou-se o número de repetições para cinco;
- Concentração de carboidratos: ampliou-se o número de repetições para cinco na avaliação 60 dias após retirada do fitilho e para quatro na avaliação 120 dias após a retirada do fitilho.

Nessa última etapa, referente ao segundo fluxo de crescimento ao final do experimento, também se procedeu à determinação em folhas e caules correspondentes ao segundo fluxo de crescimento (com 3 meses de idade) e também ao primeiro fluxo de crescimento (com 6 meses de idade), a fim de melhor elucidar os objetivos da pesquisa;

- Teor de umidade do substrato: ao final do experimento, coletaram-se dez amostras de 130 mL de substrato para os tratamentos referentes à capacidade de substrato e interrupção da irrigação a -15 kPa e -25 kPa durante a Fase 3 (120 dias totais de deficiência hídrica), para ambos os porta-enxertos. As amostras foram pesadas em balança digital, e depois secas a 65°C por 72 horas, para determinação do teor de umidade no período de máximo estresse (imediatamente antes da irrigação de restauração);
- pH, eletro condutividade (EC) e concentração de nitrato no substrato: essas variáveis foram obtidas em água drenada após irrigação das mudas, 75 e 150 dias após a retirada do fitilho, via medição em condutivímetro de bancada (BOAVENTURA et al., 2004). Foram realizadas três medições por variável e período, a partir de amostras compostas por três sacolas contendo mudas cítricas, sobre cada um dos porta-enxertos.

Ao final de cada fluxo de crescimento das mudas (em março e maio de 2007, para o primeiro experimento, e em setembro de 2007 e fevereiro de 2008, para o segundo experimento), as plantas necessárias às avaliações destrutivas e fisiológicas previstas foram transportadas, do viveiro comercial em Araras para a Universidade de São Paulo, Campus de Piracicaba, para viabilizar o uso dos equipamentos apropriados pertencentes à Universidade. Após período de adaptação em estufa telada e disponibilização dos equipamentos, as plantas foram submetidas às devidas análises.

2.2 Resultados e discussão

2.2.1 Experimento envolvendo PEG como osmólito

Ciclos de irrigação e variáveis climáticas

Da retirada de fitilho da enxertia até o término do segundo fluxo de crescimento do enxerto, foram realizadas 110 irrigações diárias nas plantas conduzidas sob capacidade de

container e PEG, totalizando-se 33 L planta⁻¹. Neste mesmo período foram realizadas 24 irrigações nos tratamentos submetidos à interrupção da irrigação, até o potencial da água no substrato atingir -15kPa, perfazendo um turno de rega médio de 4,5 dias. Neste caso, o volume aplicado de água variou conforme a necessidade de se restaurar a capacidade de container do substrato, sendo verificado no ciclo de produção um volume acumulado de 17 L planta⁻¹. Não se verificaram diferenças consistentes entre turnos de rega em função do porta-enxerto.

Com relação à massa de sacola no período, mensurada para determinação da lâmina de irrigação por gravimetria, verificou-se que citrumelo ‘Swingle’ apresentou em média maior massa do que limão ‘Cravo’ (Figura 4). Isso pode indicar que plantas sobre este porta-enxerto absorveram menor quantidade de água no mesmo intervalo de tempo, em função de diferente condutividade hidráulica (ZEKRI; PARSONS, 1989). A massa das sacolas ampliou-se durante o período a medida que as plantas cresceram. Independentemente do porta-enxerto, pode-se observar que a aplicação de solução contendo PEG acarretou maior massa de sacolas em relação aos tratamentos em que se utilizou apenas água, uma vez que o PEG eleva a densidade da solução aplicada. Por outro lado, a massa média de sacolas mantidas em capacidade de container e a massa média de sacolas submetidas a ciclos de irrigação intermitente foram similares, observando-se uma redução contínua de massa a cada quatro dias, em plantas submetidas à deficiência hídrica, o que corresponde ao turno de rega neste manejo. Até 20 dias após a retirada do fitilho, observou-se redução mais acentuada da massa de sacolas submetidas a interrupção de irrigação. A explicação consiste na umidade inicial, idêntica para todos os tratamentos, e portanto um período mais extenso se passou até que o substrato atingisse o potencial hídrico de -15 kPa.

Durante a condução do experimento, as temperaturas diárias média e máxima foram significativamente superiores no interior da estufa, em relação ao ambiente, enquanto a umidade relativa apresentou comportamento inverso (Figuras 5 e 6). A faixa de temperatura média registrada dentro da estufa atingiu o limite superior para a cultura dos citros (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996). Entretanto, não se verificou prejuízo ao crescimento das mudas, comprovando-se que o ciclo vegetativo das espécies cítricas se beneficia por temperaturas mais elevadas.

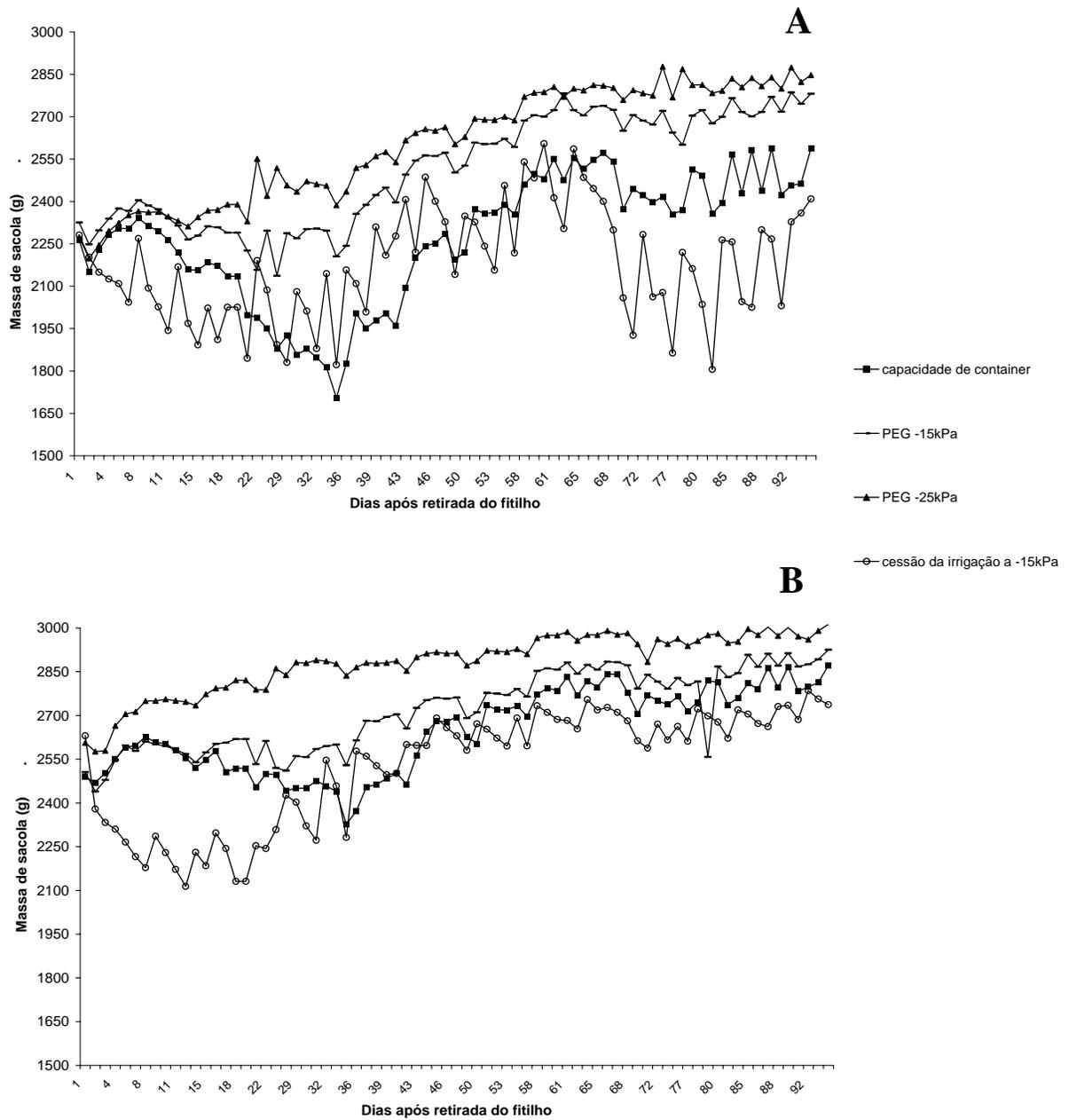


Figura 4 - Variação diária de massa de sacolas contendo mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' (A) e citrumelo 'Swingle' (B), e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, até 95 dias após a retirada do fitilho de enxertia. Araras, 2007

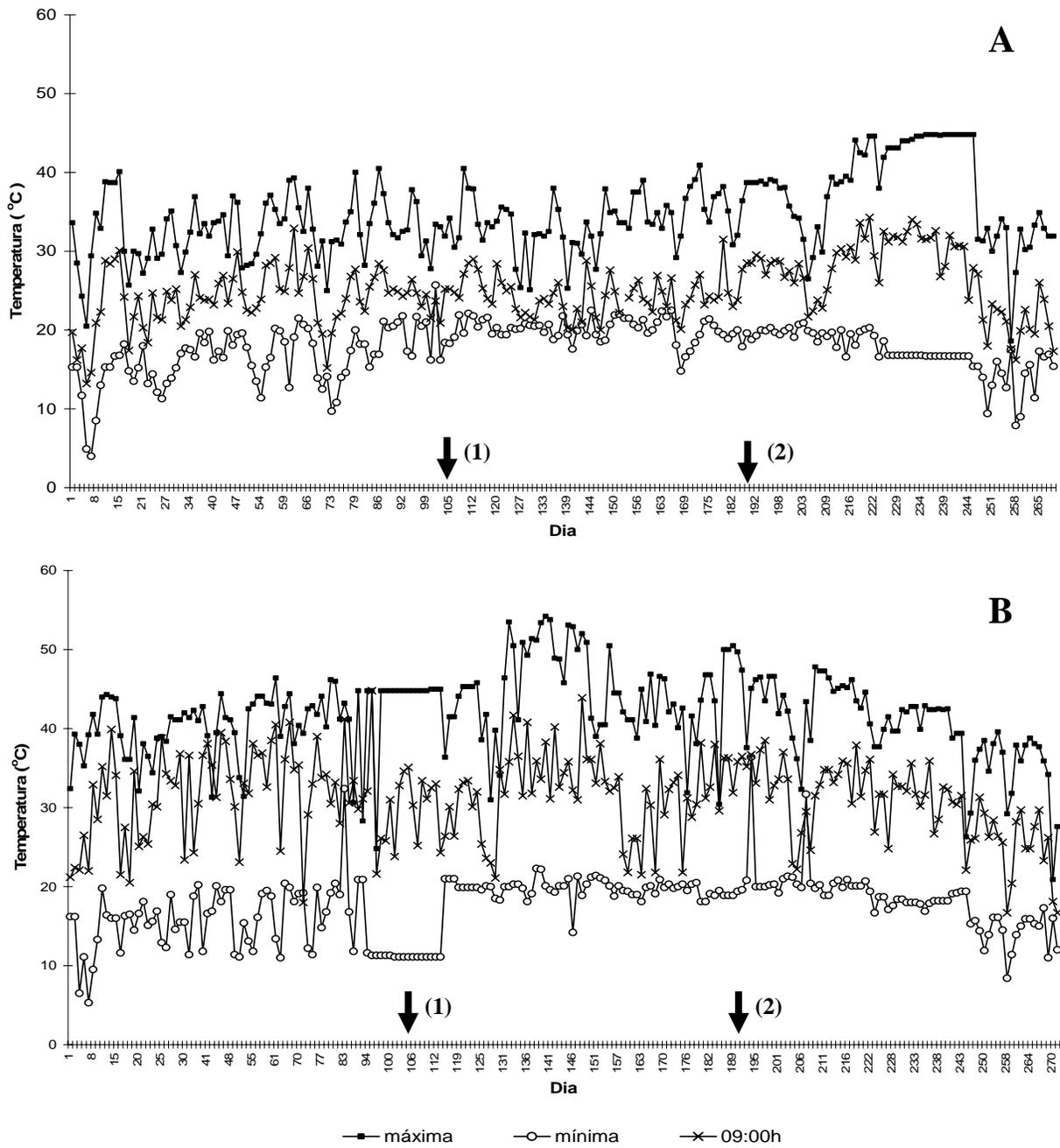


Figura 5 -Variação diária de temperaturas máxima, mínima e às 09:00h na localidade do viveiro de mudas (A) e no interior da estufa (B) em que foi instalado o experimento, desde o transplante dos porta-enxertos até o término do segundo fluxo de crescimento de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica. As setas indicam a enxertia (1) e o término do primeiro fluxo de crescimento (2). Araras, 2007

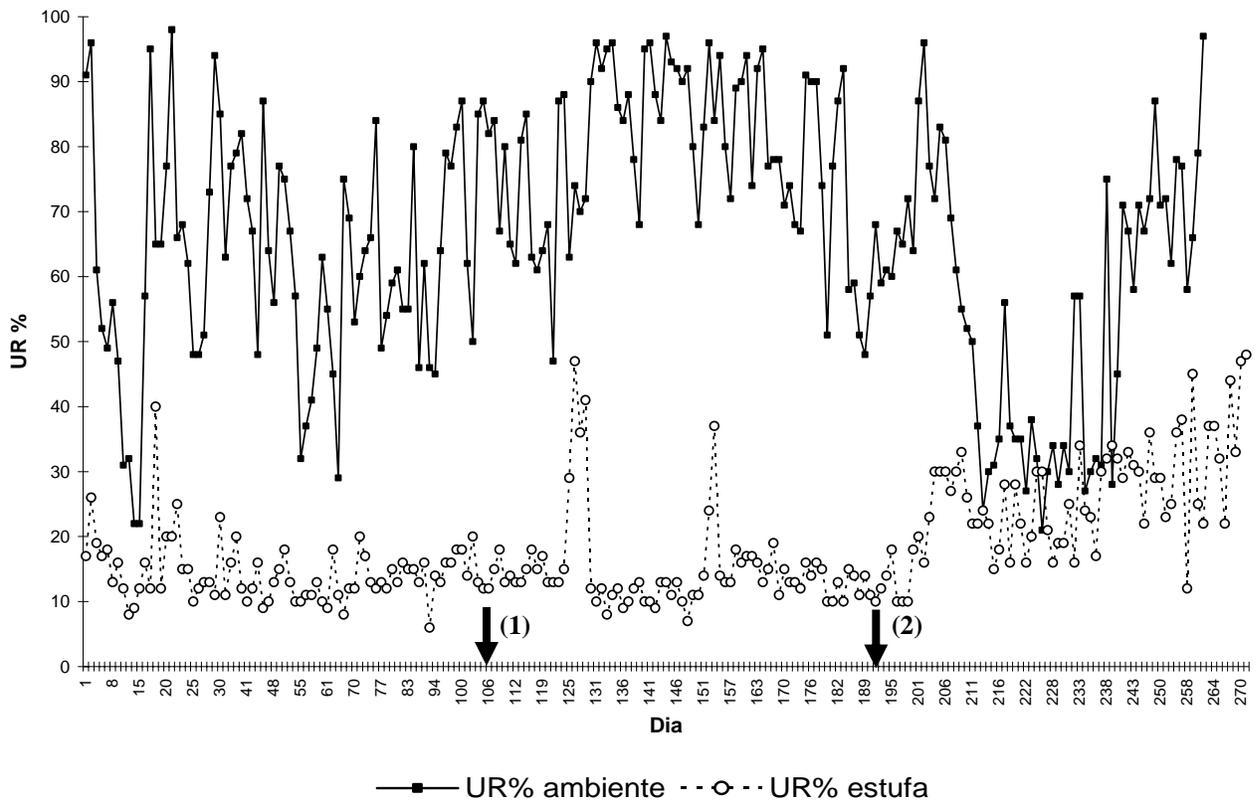


Figura 6 - Variação diária da umidade relativa às 09:00h na localidade do viveiro de mudas (ambiente) e no interior da estufa em que foi instalado o experimento, desde o transplante dos porta-enxertos até o término do segundo fluxo de crescimento de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica. As setas indicam a enxertia (1) e o término do primeiro fluxo de crescimento (2). Araras, 2007

Durante a Fase 1 (primeiro fluxo de crescimento), a temperatura se manteve elevada, e umidade relativa baixa, condições típicas de verão em ambiente protegido (Figuras 5 e 6). Contudo, a partir do início do segundo fluxo de crescimento, observa-se queda gradual na temperatura e aumento da umidade relativa no interior da estufa, estabelecendo-se condições de inverno. Estas condições foram mantidas até o término do experimento, período em que se conduziram as medições de variáveis de fotossíntese para plantas com dois fluxos de crescimento. A umidade relativa do ambiente, por outro lado, caiu no início do inverno (Figura 6).

Eletro condutividade e pH do substrato

O pH e a eletrocondutividade do substrato variaram significativamente de acordo com o manejo adotado a partir do início do segundo fluxo de crescimento (Figuras 7, 8 e 9). Enquanto os valores de pH para mudas mantidas em capacidade de container ou sob deficiência hídrica por interrupção da irrigação se mantiveram ao redor de 6,3 durante este período, o pH médio para mudas submetidas ao PEG, independentemente da sua concentração, ficou ao redor de 4,5 (Figura 7). A absorção e transporte de nutrientes como Ca e Na parece ser influenciada pela interação de pH e presença de PEG na solução nutritiva, em estudos envolvendo outras espécies vegetais (KUMIKO; TORU, 2004).

Quando se considera a fase de crescimento em que se induziu estresse por PEG, observam-se valores crescentes de pH, entre 4,5 e 6,2 para a Fase 1 (estresse durante o primeiro fluxo de crescimento, seguido de irrigação diária), decrescentes entre 6,9 e 4,4 para a Fase 2 (estresse durante o segundo fluxo de crescimento, precedido de irrigação diária), e constantes em torno de 4,5 para a Fase 3 (estresse durante os dois fluxos de crescimento) (Figura 8). Esta variação de pH está associada à adição ou lavagem do PEG no substrato, conforme a fase avaliada. Por outro lado, a eletrocondutividade decresceu em todas as sacolas, com intensidade bem mais pronunciada em plantas não submetidas a PEG (Figura 9).

O patamar mais elevado de eletrocondutividade no substrato que recebeu PEG, especialmente na maior concentração, pode decorrer da menor absorção de nutrientes pelo sistema radicular nestes tratamentos, uma vez que as plantas submetidas ao PEG apresentaram menor desenvolvimento e, provavelmente, menor absorção de nutrientes da solução do substrato (ZEKRI, 1995), ou ainda por propriedades adsorventes do PEG (STEUTER; MOZAFAR; GOODIN, 1981). A manutenção de maiores concentrações de fertilizantes em substrato irrigado com PEG pode estar ligada também aos menores valores de pH observados nestes tratamentos, uma vez que os fertilizantes utilizados têm natureza ácida.

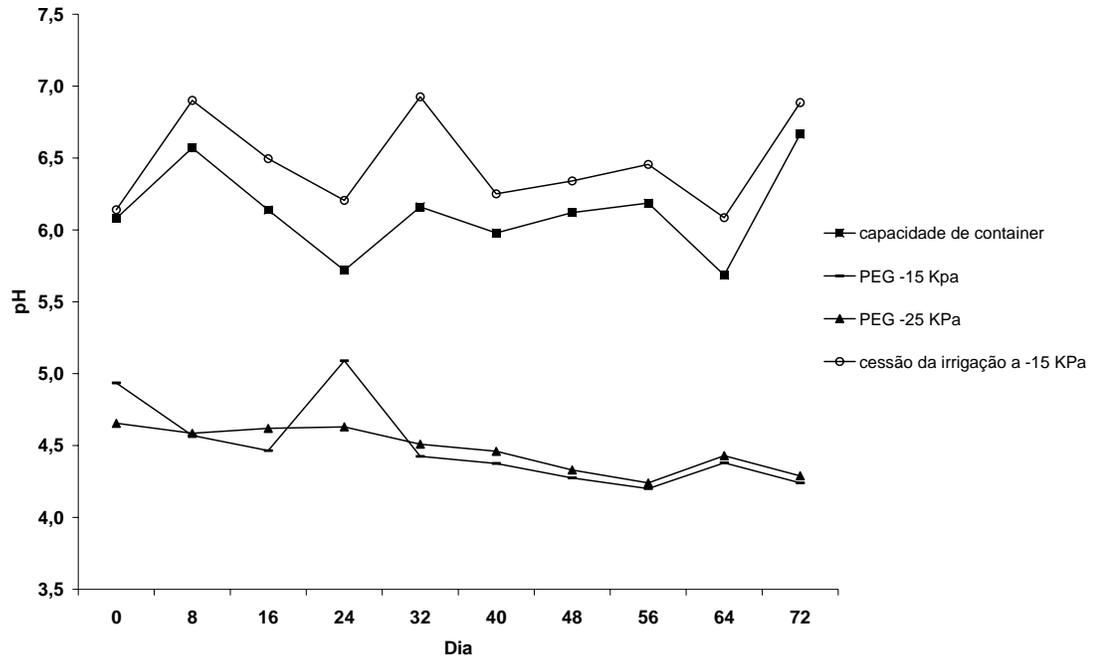


Figura 7 - Variação a cada oito dias de pH do substrato de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, entre o início do segundo fluxo de crescimento do enxerto e término de produção das mudas (n=6). Araras, 2007

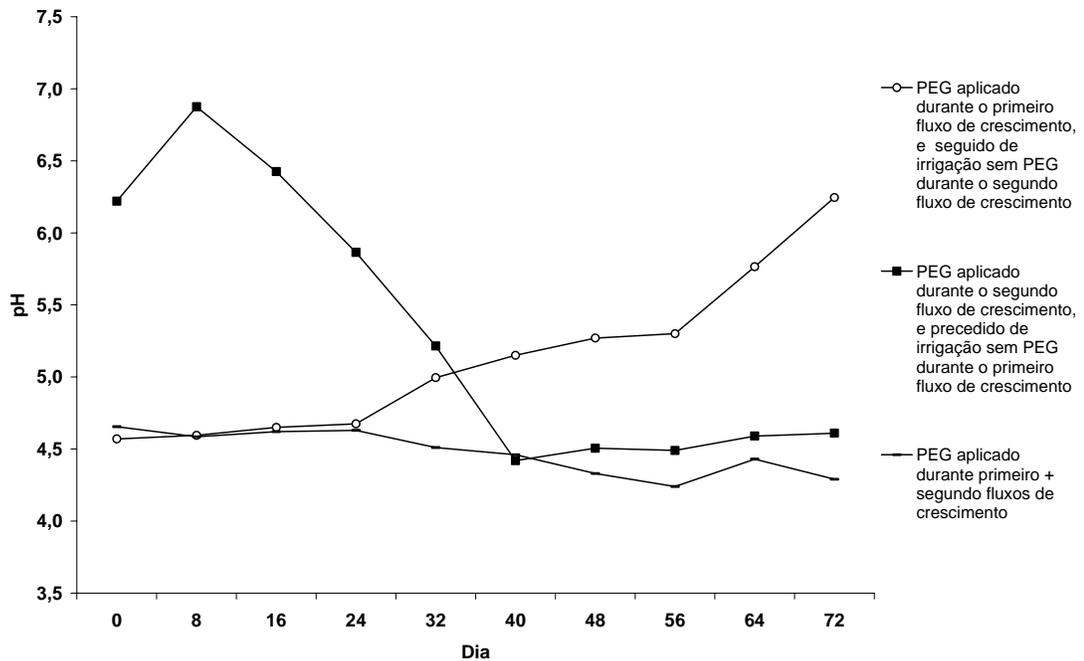


Figura 8 - Variação a cada oito dias de pH do substrato de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e submetidas a irrigação diária de solução contendo PEG (média de -15 e -25 KPa) aplicada em diferentes fases de crescimento das mudas, medida entre o início do segundo fluxo de crescimento do enxerto e término de produção das mudas (n=6). Araras, 2007

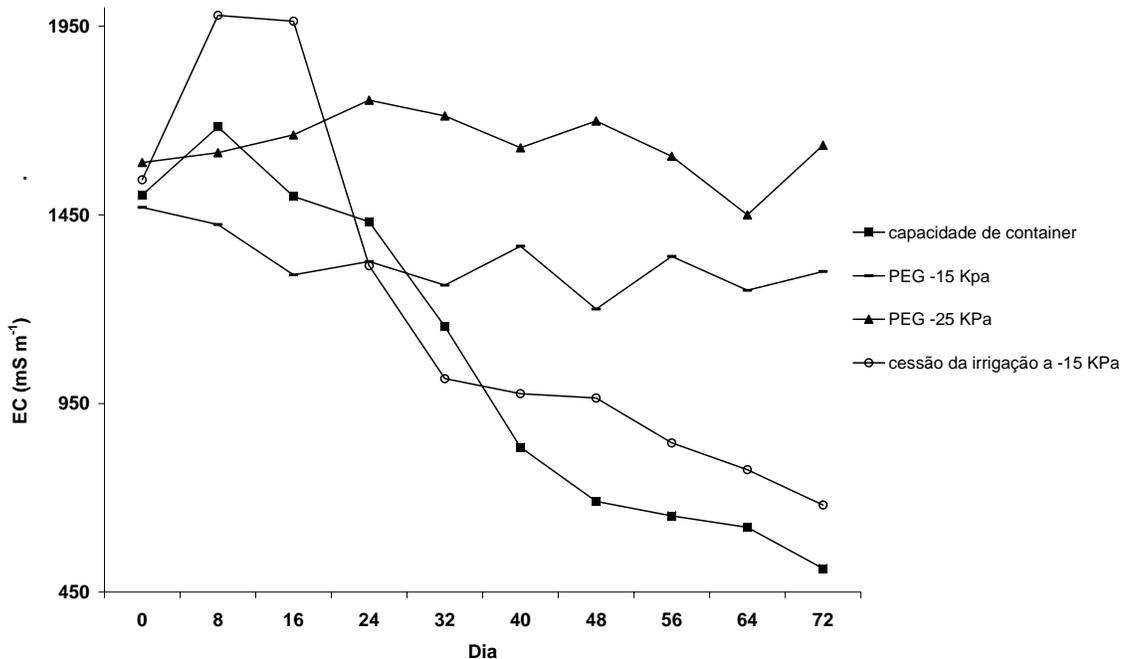


Figura 9 - Variação a cada oito dias de eletrocondutividade (EC) do substrato de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, entre o início do segundo fluxo de crescimento do enxerto e término de produção das mudas (n=6). Araras, 2007

O projeto inicial previa a utilização de fibra de coco após o transplante dos porta-enxertos para sacolas plásticas e durante a condução dos experimentos. Entretanto, durante o cultivo inicial de porta-enxertos destinados ao experimento, constataram-se sintomas de fitotoxidez por boro e sódio em mudas produzidas na fibra de coco (Figura 10). Análise química das folhas sintomáticas e assintomáticas confirmou as concentrações destes nutrientes em níveis excessivos, além dos demais micronutrientes e potássio (BATAGLIA et al., 2008; HANLON; OBREZA; ALVA, 1995) (Tabela 1). Tais sintomas não foram observados em plantas do mesmo lote produzidas em substrato com base em casca de pinus. Assim, o possível efeito desta fitotoxidez sobre os tratamentos a serem avaliados foi a razão central para que se alterasse o tipo de substrato usado no experimento. É importante também destacar que a maioria dos viveiros de citros no Estado de São Paulo utiliza substratos à base de casca de pinus, produto de menor custo e de manejo mais difundido.

Tabela 1 - Concentração foliar de macro e micronutrientes em porta-enxertos de citros produzidos em recipientes contendo fibra de coco. Araras, 2006

Material	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Limão 'Cravo' (folhas assintomáticas)	21,84	2,93	24,50	12,73	2,09	2,10	0,24	116	64	69	50	26
Limão 'Cravo' (folhas sintomáticas)	25,76	3,45	41,25	14,20	1,00	2,85	0,46	520	437	108	168	53
Citrumelo 'Swingle' (folhas assintomáticas)	32,13	2,83	19,00	12,26	3,23	2,10	0,21	97	38	50	42	23
Citrumelo 'Swingle' (folhas sintomáticas)	27,16	1,65	27,00	25,84	3,52	3,86	0,72	345	1270	237	281	52



Figura 10 - Fitotoxidez de boro (esquerda) e fitotoxidez de sódio (direita) em porta-enxertos de citros cultivados em fibra de coco. Araras, 2006

Porta-enxertos

Os porta-enxertos utilizados no experimento apresentaram características biométricas bastante semelhantes no momento da enxertia (Tabelas 2 e 3). Procurou-se padronizar ao máximo os porta-enxertos quanto a suas características de vigor. Mesmo assim, no momento da enxertia, limão 'Cravo' apresentou menores valores de altura, número de folhas e massa de matéria fresca de caule, mas maiores médias de massa de matéria fresca de folhas e de raízes, em relação ao citrumelo 'Swingle' (Tabela 2). Contudo, massas de matéria seca não diferiram entre os porta-enxertos. O limão 'Cravo' apresentou também maiores médias de concentração de carboidratos solúveis totais e açúcares redutores em folhas, caule e sistema radicular (Tabela 3). Esta característica pode explicar o maior vigor deste porta-enxerto (POMPEU JUNIOR, 2005).

Tabela 2 - Altura, diâmetro 15 acima do colo, número de folhas (NF), comprimento de internódio (CI), área foliar unitária (AF), massa foliar específica (MFE), e massas de matérias fresca e seca de folhas (MFF e MSF), caule (MFC e MSC) e sistema radicular (MFR e MSR) de porta-enxertos de limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', no momento da enxertia com laranja 'Valência'. Araras, 2006

Porta-enxerto	Altura	Diâmetro	NF	CI	AF	MFE
	cm	mm	unidade	cm	m ²	10 ⁻³ g cm ⁻²
Limão 'Cravo'	139B	6,6A	62B	2,23A	0,22A	7,8A
Citrumelo 'Swingle'	156A	7,0A	67A	2,32A	0,20A	7,5A
Porta-enxerto	MFF	MSF	MFC	MSC	MFR	MSR
	----- g -----					
Limão 'Cravo'	48A	17A	54B	28A	131A	36A
Citrumelo 'Swingle'	42B	15A	62A	31A	108B	33A

Médias seguidas por letras maiúsculas em colunas diferem entre si pelo Teste de Student ($P < 0,05$).

Tabela 3 - Concentração de carboidratos solúveis totais (CHOt) e de açúcares redutores (Ac Red) em folhas, caule e sistema radicular de porta-enxertos de limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', no momento da enxertia com laranja 'Valência'. Araras, 2006

Porta-enxerto	Órgão	CHOt	Ac Red
		mg g ⁻¹ MS	
Limão 'Cravo'	folha	417,49	87,33
	caule	221,12	40,76
	raiz	153,53	21,39
Citrumelo 'Swingle'	folha	363,74	67,02
	caule	137,40	30,87
	raiz	102,03	12,34

Percentagem de brotação da enxertia

Não houve influência da deficiência hídrica sobre a brotação do enxerto, 15 dias após a retirada do fitilho (dados não apresentados). Por outro lado, limão 'Cravo' induziu 99% de brotação do enxerto, superior à apresentada sobre citrumelo 'Swingle' (87%). Não foram observadas borbulhas mortas 15 dias após a retirada do fitilho, em nenhum dos tratamentos. Como a deficiência hídrica foi aplicada 15 dias após a enxertia, logo em seguida da retirada do fitilho, a adequada cicatrização da enxertia sofreu influência exclusivamente do porta-enxerto.

Altura e número de folhas

Limão ‘Cravo’ induziu maior altura à copa do que citrumelo ‘Swingle’, tanto durante o primeiro fluxo como durante o segundo fluxo de crescimento. Conseqüentemente, um menor número de folhas da copa foi registrado em plantas sobre citrumelo ‘Swingle’, já após o primeiro fluxo de crescimento (Tabela 4).

Inicialmente, plantas submetidas à maior concentração de PEG (-25 kPa) alcançaram altura inferior à de plantas produzidas sob capacidade de campo (Tabela 4). Contudo, 120 dias após o início dos tratamentos, todas as plantas submetidas a PEG, independentemente da sua concentração, apresentam altura inferior às das plantas do tratamento controle. Plantas submetidas a estresse por interrupção da irrigação também atingiram maior altura em relação às plantas submetidas à maior concentração de PEG (-25 kPa). Plantas submetidas aos dois tratamentos de PEG apresentaram sintomas de fitotoxidez durante todo o crescimento do enxerto (Figura 11), corroborando suspeitas de que os efeitos do PEG vão além daqueles decorrentes de um menor potencial osmótico no substrato (ZEKRI, 1993).

Ao final do experimento, plantas que foram submetidas à deficiência hídrica apenas durante o segundo fluxo de crescimento apresentaram maior altura em relação às plantas estressadas por todo o ciclo (Tabela 4). Assim, o efeito do estresse por um período mais longo é mais prejudicial. Não houve influência dos diferentes métodos de indução de deficiência hídrica sobre número de folhas até 60 dias após a retirada dos fitilhos. Por outro lado, limão ‘Cravo’ induziu um maior número de folhas na copa (Tabela 4). Assim, a uma maior altura correspondeu um maior número de folhas, devido ao maior número de fitômeros formados. No entanto, 60 dias depois, ou seja, ao final do segundo fluxo de crescimento, a presença do PEG levou à redução do número de folhas em ambos os porta-enxertos, quando aplicado por todo o ciclo de produção.

Ao final das avaliações, observou-se que plantas submetidas a PEG durante a Fase 1, e posteriormente irrigadas com água, apresentaram seu segundo fluxo de vegetação com aspecto absolutamente normal (Figura 12). O contrário ocorreu com plantas que receberam PEG apenas durante o segundo fluxo de crescimento, de maneira que todas as folhas manifestaram sintomas, especialmente as mais novas. Assim, aparentemente o mecanismo de fitotoxidez do PEG pode não envolver translocação de fatores das folhas mais velhas para as mais novas, e sim um modo de ação *in loco*. A toxidez por PEG é atribuída ao bloqueio de absorção de água e conseqüente

dessecação da planta (LAWLOR, 1970). Contudo, não é o que se observou nesse trabalho, já que o substrato se manteve impregnado até o final das avaliações, e as medições fisiológicas não apontaram semelhança entre os danos induzidos pelo PEG e pela interrupção da irrigação. Pesquisas com suspensão de células vegetais indicam que soluções contendo PEG acarretam em danos oxidativos à membrana plasmática e extravasamento de íons (ZHAO et al., 2008).

Diâmetro de caules de porta-enxerto e de copa

Plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ apresentaram maior diâmetro de caule do porta-enxerto, 5 cm abaixo da enxertia, após o primeiro fluxo de crescimento (Tabela 5). Já após o segundo fluxo de crescimento, apenas 60 dias após, plantas sobre o limão ‘Cravo’ compararam-se de forma semelhante às aquelas sobre o citrumelo ‘Swingle’ para esta variável. Durante a primeira metade do experimento, plantas submetidas a tratamentos com PEG no potencial osmótico -25kPa apresentaram menor diâmetro do que plantas produzidas sem estresse hídrico ou ainda sob interrupção intermitente da irrigação, evidenciando que os efeitos do PEG diferem daqueles apresentados por deficiência hídrica decorrente da interrupção da irrigação. De fato, após o segundo fluxo de crescimento, plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e submetidas à interrupção da irrigação apresentaram maior diâmetro de porta-enxerto em relação às plantas tratadas com PEG, contudo inferior às plantas mantidas irrigadas. Redução de crescimento vegetativo de citros pelo uso de PEG é documentada mesmo sob baixas concentrações ou potencial osmótico correspondente (ZEKRI, 1991; ZEKRI; PARSONS, 1990).

Observou-se menor diâmetro de caule do enxerto, 5 cm acima da enxertia, em mudas enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’, durante os dois fluxos de crescimento (Tabela 5). Embora não tenha ocorrido influência dos métodos de indução de deficiência hídrica sobre o diâmetro do enxerto até 60 dias após retirada de fitilho, ao final do experimento, tratamentos envolvendo aplicação de PEG reduziram diâmetro do enxerto em relação a plantas submetidas a interrupção da irrigação. Plantas mantidas sob condições de capacidade de container apresentaram o maior diâmetro de caule de enxerto. A indução de estresse exclusivamente durante o primeiro fluxo de crescimento foi menos prejudicial ao diâmetro do enxerto ao final das avaliações (Tabela 5), ao contrário do que ocorreu para altura e número de folhas (Tabela 4).

Tabela 4 - Altura e número médio de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
Altura 60 DARF								
----- cm -----								
Capacidade de container	33,4	32,6	32,4	32,8A	22,3	21,8	23,3	22,5A
PEG -15 kPa	31,3	30,2	29,9	30,5AB	20,1	19,4	19,1	19,5AB
PEG -25 kPa	30,9	31,3	28,3	30,2B	17,1	20,0	16,7	17,9B
Interrupção irrigação -15 kPa	30,3	32,3	31,1	31,2AB	21,1	23,6	16,5	20,4AB
Média	31,5	31,6	30,4		20,2	21,2	18,9	
Média Porta-enxerto	31,20a				20,0b			
Altura 120 DARF								
----- cm -----								
Capacidade de container	86,8	79,9	82,9	83,2A	65,7	79,3	59,8	68,3A
PEG -15 kPa	68,3	71,9	61,9	67,4BC	50,7	55,6	57,3	54,5BC
PEG -25 kPa	61,7	78,2	59,3	66,4C	50,5	55,8	30,9	45,7C
Interrupção irrigação -15 kPa	79,3	73,6	80,3	77,7B	64,9	58,5	44,2	55,9B
Média	74,0ab	75,9a	71,1b		58,0ab	62,3a	48,1b	
Média Porta-enxerto	73,7a				56,1b			
Número de folhas 60 DARF								
----- unidade -----								
Capacidade de container	18,0	16,0	17,0	17,0	11,9	11,3	12,7	12,0
PEG -15 kPa	17,9	16,0	15,9	16,6	11,1	10,4	10,7	10,3
PEG -25 kPa	16,5	16,4	16,0	16,3	9,6	10,4	9,3	9,8
Interrupção irrigação -15 kPa	16,0	17,0	16,5	16,5	12,0	12,7	9,7	11,5
Média	17,1	16,3	16,3		11,15	11,2	10,2	
Média Porta-enxerto	16,6a				11,0b			
Número de folhas 120 DARF								
----- unidade -----								
Capacidade de container	42,3	39,3	41,0	40,9A	32,9	35,5	29,6	32,7A
PEG -15 kPa	34,5	35,7	30,6	34,1BC	26,0	28,6	29,3	28,0BC
PEG -25 kPa	32,8	38,7	30,9	33,6C	26,1	25,8	17,0	23,0C
Interrupção irrigação -15 kPa	39,6	36,5	40,1	38,7AB	32,9	29,3	23,7	28,6AB
Média	37,3a	37,6a	35,7b		29,5a	29,8a	24,9b	
Média Porta-enxerto	36,8a				28,0b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 5 - Diâmetro de caule de porta-enxerto e diâmetro de caule de enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
Diâmetro de caule de porta-enxerto 60 DARF								
----- mm -----								
Capacidade de container	10,1Aa	9,9Aa	9,5Aa	9,8A	10,3Aa	10,6Aa	10,6Aa	10,5A
PEG -15 kPa	9,1ABa	9,4Aa	9,1ABa	9,2BC	10,0ABa	10,5Aa	10,2ABa	10,2BC
PEG -25 kPa	8,7Bb	9,9Aa	8,7Bb	9,1C	9,8Bb	10,8Aa	9,5Bb	10,0C
Interrupção irrigação -15 kPa	9,3Aa	9,6Aa	9,9Aa	9,6AB	10,6Aa	10,6Aa	9,6Ba	10,3AB
Média	9,3b	9,7a	9,3b		10,2b	10,6a	10,0b	
Média Porta-enxerto		9,4b			10,3a			
Diâmetro de caule de porta-enxerto 120 DARF								
----- mm -----								
Capacidade de container	13,2	12,8	12,7	12,9A	12,8	13,3	12,8	13,0A
PEG -15 kPa	12,2	11,3	10,3	11,3C	11,1	11,8	11,5	11,5B
PEG -25 kPa	11,2	11,3	10,2	10,9C	10,5	11,8	10,0	10,8B
Interrupção irrigação -15 kPa	13,3	12,1	12,3	12,6B	12,0	11,6	10,6	11,4B
Média	12,5a	11,9b	11,4b		11,6b	12,1a	11,2b	
Média Porta-enxerto		11,9			11,6			
Diâmetro de caule de enxerto 60 DARF								
----- mm -----								
Capacidade de container	7,1	7,1	6,8	7,0	5,4	5,3	5,0	5,2
PEG -15 kPa	6,3	6,5	6,3	6,4	4,8	5,0	5,2	5,0
PEG -25 kPa	5,8	7,2	5,8	6,3	5,8	5,6	4,1	5,2
Interrupção irrigação -15 kPa	6,4	7,2	6,7	6,8	5,2	5,5	4,0	4,9
Média	6,4b	7,0a	6,4b		5,3ab	5,4a	4,6b	
Média Porta-enxerto		6,6a			5,1b			
Diâmetro de caule de enxerto 120 DARF								
----- mm -----								
Capacidade de container	9,7	9,6	9,5	9,6A	7,2	7,7	7,7	7,5A
PEG -15 kPa	9,2	8,1	7,0	8,1C	5,3	6,1	6,1	5,8C
PEG -25 kPa	8,6	8,5	7,5	8,2C	5,7	6,4	4,5	5,5C
Interrupção irrigação -15 kPa	10,0	9,0	9,1	9,4B	6,7	5,8	5,7	6,1B
Média	9,4a	8,8ab	8,3b		6,5a	6,2ab	6,0b	
Média Porta-enxerto		8,8a			6,2b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.



Figura 11- (A) Área experimental; (B) mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, após primeiro fluxo de desenvolvimento do enxerto, 60 dias após retirada de fitilho de enxertia; (C) sintomas iniciais de fitotoxidez observados em tratamentos submetidos a PEG; (D) sintomas avançados de fitotoxidez observados em tratamentos submetidos a PEG -15kPa; (E) muda produzida em condições de capacidade de container (esquerda) ao lado de muda produzida em condições de irrigação intermitente (direita), no período de máximo estresse; (F, G) sintomas severos de fitotoxidez observados em tratamentos submetidos a PEG -25 kPa. Araras, 2007



Figura 12 - (A) Mudanças de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo', após segundo fluxo de desenvolvimento do enxerto, cerca de 120 dias após retirada de fitilho de enxertia; (B) sintomas de fitotoxidez observados em tratamentos submetidos a PEG somente após o início do segundo fluxo de crescimento das mudas; (C) notar aspecto sadio apresentado pelo segundo fluxo de crescimento em mudas previamente submetidas a PEG ajustado para -25 KPa e depois irrigadas apenas com água. Araras, 2007

Comprimento de internódio

Não ocorreram diferenças no comprimento do internódio do caule do enxerto em função do porta-enxerto (Tabela 6). Entretanto, inicialmente plantas submetidas à deficiência hídrica nas fases 1 e 3 apresentaram comprimento de internódio inferior às plantas não estressadas, independentemente do método empregado, sendo que plantas sobre limão ‘Cravo’ não diferiram entre si, 120 dias após retirada de fitilho da enxertia. A irrigação com PEG a -25 KPa reduziu o comprimento do internódio em ambos os porta-enxertos ao longo do experimento.

Abscisão foliar

Durante o primeiro fluxo de crescimento do enxerto, a abscisão foliar foi muito baixa (<1%), não havendo diferença entre os tratamentos (Tabela 6). Entretanto, a abscisão elevou-se pronunciadamente durante o segundo fluxo de crescimento em plantas sobre limão ‘Cravo’ e submetidas a PEG. A abscisão foi restrita ao segmento de ramo correspondente ao segundo fluxo de crescimento das plantas (Figura 12 B). Plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ apresentaram maior abscisão somente em maior concentração do PEG, mas em nível inferior ao apresentado por plantas sobre limão ‘Cravo’. Plantas de limão verdadeiro [*Citrus limon* (L.) Burm.] de dois anos de idade apresentaram como mecanismo de redução de transpiração a desfolha parcial, bem como enrolamento de folhas e fechamento estomático, quando submetidas à deficiência hídrica por interrupção da irrigação em vasos por 13 dias (RUIZ-SÁNCHEZ et al., 1997). Contudo, a deficiência hídrica correspondente a -15Kpa (cerca de 4,5 dias sem irrigação) não acarretou abscisão foliar em plantas sobre limão ‘Cravo’, em nenhum fluxo de crescimento, ao final do experimento (Tabela 6), o que indica que, neste trabalho, esse fenômeno se deveu exclusivamente ao efeito tóxico do PEG.

Tabela 6 - Comprimento de internódio de enxerto e abscisão foliar de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fítilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
	Fase 1	Fase 2	Fase 3		Fase 1	Fase 2	Fase 3	
Comprimento de internódio de enxerto 60 DARF								
----- cm -----								
Capacidade de container	1,8	2,0	1,9	1,9A	1,9	1,9	1,8	1,9A
PEG -15 kPa	1,7	1,9	1,9	1,8B	1,8	1,8	1,8	1,8B
PEG -25 kPa	1,9	1,9	1,8	1,8B	1,7	1,9	1,8	1,8B
Interrupção irrigação -15 kPa	1,8	1,9	1,9	1,8B	1,8	1,8	1,7	1,8B
Média	1,8b	1,9a	1,8b		1,8b	1,9a	1,8b	
Média Porta-enxerto	1,88				1,84			
Comprimento de internódio de enxerto 120 DARF								
----- cm -----								
Capacidade de container	2,0	2,0	2,0	2,0A	2,0	2,3	2,0	2,1A
PEG -15 kPa	2,0	2,0	2,0	2,0A	1,9	1,9	1,9	1,9B
PEG -25 kPa	1,9	2,0	1,9	1,9B	1,9	2,2	1,7	1,9B
Interrupção irrigação -15 kPa	2,0	2,0	2,0	2,0A	2,0	2,0	1,9	2,0AB
Média	2,0	2,0	2,0		2,0b	2,1a	1,9b	
Média Porta-enxerto	1,9				1,9			
Abscisão foliar 60 DARF								
----- mL -----								
Capacidade de container	0,57	0,25	0,63	0,48	0,28	0,71	0,75	0,58
PEG -15 kPa	0,39	0,21	0,75	0,45	0,31	0,39	0,38	0,36
PEG -25 kPa	0,19	0,67	0,86	0,57	0,86	0,00	2,31	1,06
Interrupção irrigação -15 kPa	0,67	0,18	0,44	0,43	0,88	0,00	0,97	0,62
Média	0,46	0,33	0,67		0,58	0,28	1,10	
Média Porta-enxerto	0,48				0,65			
Abscisão foliar 120 DARF								
----- % -----								
Capacidade de container	0,2	0,0	0,0	0,1B	0,0	0,0	0,0	0,0B
PEG -15 kPa	0,0	0,5	10,9	3,8A	0,0	0,0	0,0	0,0B
PEG -25 kPa	0,0	12,0	9,2	7,1A	0,0	0,0	3,3	1,1A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,0	0,0	0,0	0,0B	0,0	1,5	0,0	0,5AB
Média	0,1b	3,1ab	5,0a		0,0	0,4	0,8	
Média Porta-enxerto	2,7a				0,4b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Massa de matérias fresca e seca

Enquanto plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram maior massa de matérias fresca e seca de folhas, caule de enxerto e sistema radicular desde o primeiro fluxo de crescimento, plantas enxertadas em citrumelo ‘Swingle’ atingiram maior massa de matérias fresca e seca de caule de porta-enxerto até 60 dias após a retirada do fitilho (Tabelas 7 a 10). Não obstante, 60 dias depois, plantas sobre o limão ‘Cravo’ já se equivaleram às demais. Plantas não submetidas à deficiência hídrica apresentaram maior massa de matérias seca e fresca de folhas e caule de enxerto nos dois períodos avaliados, em relação a plantas submetidas à deficiência hídrica, sendo que o período completo de indução, ou seja, durante os dois fluxos de crescimento da copa, acarretou menor massa de matéria seca ao final das avaliações. Entretanto, quando o método empregado se baseou na interrupção da irrigação até o potencial osmótico no substrato atingir -15kPa , as plantas apresentaram maior massa de matérias fresca e seca de folhas e caule de enxerto, em relação a plantas submetidas a estresse por PEG (Tabelas 7 e 8).

Merece destaque o fato de que plantas enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’ e mantidas sob interrupção de irrigação por todo o ciclo foram mais afetadas na parte aérea (Tabelas 7 a 9). Plantas cultivadas na maior concentração de PEG ou sob interrupção da irrigação apresentaram menores valores de massa foliar nas fases 1 e 3, durante os primeiros 60 dias de tratamento. A redução de massa de matéria seca de caule de enxerto foi bastante pronunciada ao final do experimento quando se utilizou PEG a -25kPa . Durante o primeiro fluxo de crescimento, não houve influência da deficiência hídrica sobre massa de matéria seca de caule de porta-enxerto ou massa de matérias fresca e seca de sistema radicular (Tabelas 9 e 10). Por outro lado, 60 dias após, o uso de PEG a -25 kPa reduziu a massa destes órgãos para ambos porta-enxertos. O sistema radicular de plantas cítricas parece ser mais tolerante aos efeitos adversos do PEG em relação à parte aérea, uma vez que sua redução em massa e vigor é menos intensa sob estas condições (ZEKRI, 1995).

Tabela 7 - Massa de matérias fresca e seca de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
Massa de matéria fresca de folhas 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	26,1Aa	25,3Aa	25,4Aa	25,6A	15,0Aa	13,2Aa	16,0Aa	14,7A
PEG -15 kPa	20,8BCa	24,1Aa	18,1Ba	21,0BC	11,8ABa	11,4Aa	10,4Ba	11,2BC
PEG -25 kPa	17,3Cb	25,6Aa	18,6Bb	20,5C	7,8Cb	13,7Aa	9,3Bb	10,3C
Interrupção irrigação -15 kPa	23,3ABb	28,9Aa	21,3Bb	24,5B	10,8BCb	14,0Aa	9,0Bb	11,3B
Média	21,9b	26,0a	20,9b		11,4b	13,1a	11,2b	
Média Porta-enxerto	22,9a				11,8b			
Massa de matéria fresca de folhas 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	63,0	50,9	47,4	53,8A	36,1	34,8	24,4A	31,8A
PEG -15 kPa	39,8	37,9	26,7	34,8B	19,1	23,5	17,8AB	20,1B
PEG -25 kPa	34,0	39,5	19,9	31,1B	14,7	23,1	4,1C	14,0B
Interrupção irrigação -15 kPa	51,6	49,2	43,5	48,1A	32,7	33,2	10,6B	25,5A
Média	47,1a	44,4a	34,4b		25,7a	28,7a	14,2b	
Média Porta-enxerto	41,9a				22,8b			
Massa de matéria seca de folhas 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	7,9Aa	7,6Aa	7,7Aa	7,7A	5,1Aa	4,6Aa	5,0Aa	4,9A
PEG -15 kPa	6,8Ba	7,4Aa	6,1Ba	6,8B	3,8Ba	3,5Aa	3,3Ba	3,5B
PEG -25 kPa	5,9Bb	8,0Aa	6,1Bb	6,7B	3,3Bb	4,0Aa	3,2Bb	3,5B
Interrupção irrigação -15 kPa	7,1Bb	8,7Aa	6,9Bb	7,6B	3,4Bb	4,3Aa	2,8Bb	3,5B
Média	6,9b	7,9a	6,7b		3,9b	4,1a	3,6b	
Média Porta-enxerto	7,2a				3,9b			
Massa de matéria seca de folhas 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	20,0	15,8	13,8	16,5A	10,5	10,6	6,9A	9,3A
PEG -15 kPa	10,9	11,1	8,2	10,1B	6,7	6,8	5,4B	6,3B
PEG -25 kPa	10,8	11,2	6,3	9,4B	4,3	6,6	1,0C	4,0B
Interrupção irrigação -15 kPa	16,6	15,4	13,1	15,0A	9,9	9,7	2,9BC	7,5AB
Média	14,6a	13,4a	10,4b		7,9a	8,4a	4,1b	
Média Porta-enxerto	12,7a				6,7b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 8 - Massa de matérias fresca e seca de caule de enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
Massa de matéria fresca de caule de enxerto 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	11,4Aa	10,3ABa	11,8Aa	11,2A	5,3Aa	5,5Aa	6,5Aa	5,8A
PEG -15 kPa	8,4Ba	9,2Ba	6,2Ba	7,9C	3,5Ba	3,5Ba	3,6Ba	3,5C
PEG -25 kPa	6,8Bb	10,9ABa	6,7Bb	8,1C	1,7Bb	4,3ABa	3,3Bb	3,1C
Interrupção irrigação -15 kPa	9,2Bb	12,8Aa	8,6Bb	10,2B	3,1Bb	5,4ABa	3,0Bb	3,8B
Média	9,0b	10,8a	8,3b		3,4b	4,7a	4,1b	
Média Porta-enxerto		9,3a				4,1b		
Massa de matéria fresca de caule de enxerto 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	41,9	31,5	29,9	34,4A	20,3	20,6	14,8A	18,6A
PEG -15 kPa	23,1	24,0	16,6	21,2B	10,9	11,1	9,3B	10,4B
PEG -25 kPa	19,8	23,2	12,7	18,6B	9,0	11,2	2,0B	7,4B
Interrupção irrigação -15 kPa	34,1	28,8	25,1	29,3A	17,7	17,6	6,2B	13,8AB
Média	29,7a	26,9a	21,1b		14,5a	15,1a	8,1b	
Média Porta-enxerto		25,9a				12,6b		
Massa de matéria seca de caule de enxerto 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	3,9	3,5	4,1	3,8A	1,6	1,9	2,2	1,9A
PEG -15 kPa	2,9	3,5	2,4	2,9B	1,3	1,1	1,1	1,2B
PEG -25 kPa	2,4	3,8	2,4	2,9B	0,7	2,7	1,6	1,7AB
Interrupção irrigação -15 kPa	3,2	4,4	3,1	3,6AB	1,0	1,4	1,4	1,3B
Média	3,1b	3,8a	3,0b		1,2b	1,8a	1,6b	
Média Porta-enxerto		3,3a				1,5b		
Massa de matéria seca de caule de enxerto 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	18,9	13,9	12,7	15,2A	8,7	8,7	6,2A	7,9A
PEG -15 kPa	9,8	10,0	6,9	8,9B	5,4	4,9	3,7B	4,7B
PEG -25 kPa	8,5	9,4	5,0	7,6C	3,6	4,7	1,0B	3,1C
Interrupção irrigação -15 kPa	15,9	13,0	11,1	13,3AB	7,4	7,4	2,3B	5,7AB
Média	13,3a	11,6a	8,9b		6,3a	6,4a	3,3b	
Média Porta-enxerto		11,2a				5,3b		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 9 - Massa de matérias fresca e seca de caule de porta-enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
Massa de matéria fresca de caule de porta-enxerto 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	16,0Aa	16,0a	15,9Aa	16,0A	20,7Aa	19,7a	19,9Aa	20,1A
PEG -15 kPa	14,7ABa	16,2a	13,4Ba	14,8B	18,6ABa	17,2a	17,3Ba	17,7B
PEG -25 kPa	13,3Bb	17,6a	13,8Bb	14,9B	16,6Bb	19,1a	15,9Bb	17,2B
Interrupção irrigação -15 kPa	14,9ABb	16,5a	15,0Bb	15,5AB	18,0ABab	20,4a	15,7Bb	18,0AB
Média	14,7b	16,6a	14,5b		18,5b	19,1a	17,2b	
Média Porta-enxerto	15,3b				18,3a			
Massa de matéria fresca de caule de porta-enxerto 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	33,7	29,3	28,7	30,6 A	32,2	31,3	28,9A	30,8A
PEG -15 kPa	27,3	24,3	22,0	24,5 B	25,9	28,0	23,9B	25,9 B
PEG -25 kPa	25,9	26,1	20,7	24,2 B	24,2	27,3	18,5B	23,3 B
Interrupção irrigação -15 kPa	30,5	28,2	29,1	29,3 A	31,4	29,7	22,9B	28,0 A
Média	29,4 a	27,0 a	25,1 b		28,4 a	29,1 a	23,5 b	
Média Porta-enxerto	27,1 a				27,0 a			
Massa de matéria seca de caule de porta-enxerto 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	7,6	7,6	7,7	7,6	9,1	9,5	9,9	9,5
PEG -15 kPa	7,5	7,7	6,9	7,4	9,3	8,4	8,8	8,8
PEG -25 kPa	6,8	8,6	7,1	7,5	8,5	9,5	9,0	9,0
Interrupção irrigação -15 kPa	7,4	7,8	7,4	7,5	8,8	10,2	8,0	9,0
Média	7,3	7,9	7,3		8,9	9,4	8,9	
Média Porta-enxerto	7,5b				9,1a			
Massa de matéria seca de caule de porta-enxerto 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	19,1	16,8	15,4	17,1 A	18,3	18,3	16,5A	17,7 A
PEG -15 kPa	15,1	14,0	12,7	14,0 BC	14,9	16,4	13,9B	15,1 BC
PEG -25 kPa	14,4	15,0	12,0	13,8 C	13,6	16,0	10,3B	13,3 C
Interrupção irrigação -15 kPa	17,3	16,1	16,4	16,6 AB	18,1	16,9	13,3B	16,1 AB
Média	16,5 a	15,5 a	14,1 b		16,2 a	16,9 a	13,5 b	
Média Porta-enxerto	15,4 a				15,5 a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 10 - Massa de matéria fresca e seca de sistema radicular de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
Massa de matéria fresca de sistema radicular 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	64,8	76,2	78,6	73,2	65,2	60,8	59,7	61,9
PEG -15 kPa	72,4	78,3	76,4	75,7	65,3	55,2	56,9	59,1
PEG -25 kPa	69,8	75,6	76,2	73,9	64,4	60,3	52,9	59,2
Interrupção irrigação -15 kPa	73,3	79,2	68,3	73,6	58,6	57,9	50,3	55,6
Média	70,1	77,3	74,9		63,4	58,6	55,0	
Média Porta-enxerto		74,1a			58,9b			
Massa de matéria fresca de sistema radicular 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	135,5	105,8	100,9	114,0 A	89,9	93,5	74,2	85,9 A
PEG -15 kPa	100,7	105,5	80,6	95,6 AB	80,4	83,8	69,1	77,8 AB
PEG -25 kPa	96,1	107,5	68,6	90,8 B	72,1	78,8	42,5	64,5 B
Interrupção irrigação -15 kPa	112,5	111,1	113,2	112,2 AB	78,8	80,9	61,1	73,6 AB
Média	111,2 a	107,5 a	90,8 b		80,3 a	84,2 a	61,8 b	
Média Porta-enxerto		103,2 a			75,4 b			
Massa de matéria seca de sistema radicular 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	21,6	24,1	25,0	23,6	20,4	18,3	19,5	19,4
PEG -15 kPa	24,3	25,0	24,0	24,4	20,9	16,9	19,6	19,1
PEG -25 kPa	23,1	25,2	24,7	24,3	20,2	20,0	18,5	19,6
Interrupção irrigação -15 kPa	24,9	25,0	23,9	24,6	18,5	18,9	16,9	18,1
Média	23,5	24,8	24,4		20,0	18,5	18,6	
Média Porta-enxerto		24,2a			19,1b			
Massa de matéria seca de sistema radicular 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	46,7	40,1	34,2	40,3 AB	35,8	36,5	29,5	33,9 A
PEG -15 kPa	31,5	35,4	33,1	33,4 BC	28,5	33,0	25,9	29,1 AB
PEG -25 kPa	32,2	35,9	25,6	31,2 C	24,4	30,7	17,1	24,1 B
Interrupção irrigação -15 kPa	40,3	43,1	40,0	41,1 A	32,4	29,0	21,9	27,8 AB
Média	37,7 a	38,6 a	33,2 b		30,3 a	32,3 a	23,6 b	
Média Porta-enxerto		36,5 a			28,7 b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Área foliar e massa foliar específica

Maior área foliar foi registrada em plantas sobre limão ‘Cravo’ aos 60 e 120 dias após a retirada do fitilho de enxertia (Tabela 11). Neste intervalo de tempo, a área foliar total dobrou em ambos os porta-enxertos, estando de acordo com o crescimento em altura e número de folhas das plantas. Em plantas submetidas a estresse por PEG, houve redução da área foliar em todo o período experimental. Em plantas sobre citrumelo ‘Swingle’, esta redução também ocorreu quando se interrompeu a irrigação até 60 dias após a enxertia.

A redução de área foliar ocorreu em todos os métodos de indução de deficiência hídrica especialmente quando aplicada na Fase 3. Plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ apresentaram menor massa foliar específica do que as sobre limão ‘Cravo’ (Tabela 11). Não houve influência dos diferentes métodos de indução de deficiência hídrica sobre esta variável aos 60 dias após a retirada do fitilho. Diferentes espécies cítricas apresentam massas foliares específicas distintas, embora esta característica nem sempre seja alterada quando se trata de uma mesma copa sobre porta-enxertos diferentes (ZEKRI, 1991). Entretanto, a massa foliar específica aumentou pelo uso de PEG na mesma pesquisa.

Volume de sistema radicular

Plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram maior volume de sistema radicular, logo a partir do primeiro fluxo de crescimento (Tabela 12). Em viveiros, reporta-se que plantas de limão ‘Cravo’ e outros limões produzidos em recipientes apresentam sistema radicular mais volumoso que o de outras espécies cítricas (CASTLE, 1987; GIRARDI; MOURÃO FILHO; PIEDADE, 2007;). Não houve influência dos diferentes métodos de indução de deficiência hídrica sobre o volume de sistema radicular até 60 dias após a retirada do fitilho. Entretanto, 60 dias após, aplicação de PEG a -25kPa reduziu seu volume. Esses resultados estão de acordo com trabalhos anteriores, os quais reportaram diminuição acentuada pela ação de PEG sobre o desenvolvimento dos porta-enxertos cítricos laranja azeda (*Citrus aurantium* L.), tangerina ‘Cleópatra’ (*Citrus reshni* Hort. ex Tanaka) e *Poncirus trifoliata* (L.) Raf após seis meses (ZEKRI, 1991, 1993). O volume do sistema radicular de limão ‘Cravo’ submetido à interrupção da irrigação por ciclos de 4,5 dias apresentou as maiores médias ao final do experimento, independentemente do período de indução de estresse. Redução da área foliar e ampliação do sistema radicular figuram entre as

principais estratégias de aclimatação dos vegetais para condições de seca sazonal (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Relação raiz:copa

O emprego de PEG como indutor de deficiência hídrica levou a aumento da relação raiz:copa (R:C) das mudas em relação às plantas sob capacidade de container, em todo o período experimental (Tabela 12). Isto decorre da maior redução de massa de parte aérea nestes tratamentos, em relação à redução do sistema radicular (Tabelas 7 a 10). A interrupção da irrigação até o potencial hídrico do substrato atingir -15kPa não acarretou em aumento da R:C, em relação às plantas cultivadas sem deficiência hídrica. O porta-enxerto também não influenciou esta variável. Ao final do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho, a razão raiz:copa diminuiu a um terço, devido ao maior crescimento da massa de parte aérea no mesmo período. Este resultado é esperado para plantas com restrição de sistema radicular devido permanência em containeres por períodos prolongados (BRAVDO; LEVIN; ASSAF, 1992).

Aproveitamento comercial de mudas

Maior porcentagem de mudas aptas à comercialização foi observada em plantas sobre limão 'Cravo', sendo que 60 dias após a retirada do fitilho, 75% das plantas se encontravam aptas à comercialização (Tabela 13). Plantas submetidas à maior concentração de PEG (-25 kPa) registraram menor aproveitamento comercial de mudas. A redução do aproveitamento acompanhou a duração do período de estresse. O aproveitamento de mudas produzidas sob capacidade de container foi em geral 10% superior em relação ao de mudas submetidas à irrigação intermitente ($P < 0,10$), fato relevante do ponto de vista comercial. Ressalta-se, no entanto, que no caso de plantas enxertadas sobre limão 'Cravo', ao final do experimento este índice foi semelhante entre plantas sob capacidade de container ou interrupção da irrigação (ambas >90%), sugerindo a possível maior tolerância deste porta-enxerto à deficiência hídrica. Essa observação difere daquela apresentada por trabalhos anteriores em casa-de-vegetação, em que mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' foram mais afetadas pela redução de disponibilidade de água do que plantas da mesma copa sobre *Poncirus trifoliata*, provavelmente devido à restrição do sistema radicular em containeres (MEDINA, 1997).

A análise das variáveis de crescimento vegetativo avaliadas neste trabalho indica que plantas enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’ foram mais afetadas pelo estresse hídrico, em especial por ação do PEG. Este efeito foi potencializado pelo menor vigor que este porta-enxerto induz naturalmente à cultivar copa. A maior relação raiz:copa apresentada por este porta-enxerto ao final do experimento confirmaria esta hipótese (Tabela 12).

Tabela 11 - Área foliar total e massa foliar específica de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
	Área foliar total 60 DARF							
	----- m ² -----							
Capacidade de container	0,29	0,28	0,27	0,28A	0,18	0,24	0,21	0,21A
PEG -15 kPa	0,23	0,26	0,23	0,24B	0,15	0,15	0,16	0,15B
PEG -25 kPa	0,20	0,29	0,22	0,24B	0,17	0,17	0,13	0,16B
Interrupção irrigação -15 kPa	0,27	0,31	0,28	0,29A	0,14	0,17	0,14	0,15B
Média	0,25b	0,29a	0,25b		0,16b	0,18a	0,16b	
Média Porta-enxerto		0,26a			0,17b			
	Área foliar total 120 DARF							
	----- m ² -----							
Capacidade de container	0,77	0,61	0,52	0,63 A	0,41	0,59	0,37	0,46 A
PEG -15 kPa	0,40	0,44	0,37	0,41 B	0,32	0,35	0,29	0,32 B
PEG -25 kPa	0,40	0,45	0,26	0,37 B	0,33	0,34	0,11	0,26 B
Interrupção irrigação -15 kPa	0,66	0,59	0,63	0,63 A	0,51	0,42	0,27	0,40 A
Média	0,56 a	0,52 a	0,45 b		0,39 a	0,42 a	0,26 b	
Média Porta-enxerto		0,51 a			0,36 b			
	Massa foliar específica 60 DARF							
	----- g dm ⁻² -----							
Capacidade de container	0,86	0,87	0,91	0,88	0,95	0,63	0,75	0,78
PEG -15 kPa	0,94	0,94	0,84	0,91	0,81	0,80	0,68	0,76
PEG -25 kPa	0,95	0,90	0,91	0,92	0,61	0,67	0,81	0,70
Interrupção irrigação -15 kPa	0,86	0,89	0,80	0,85	0,78	0,81	0,69	0,76
Média	0,90	0,90	0,87		0,79	0,73	0,73	
Média Porta-enxerto		0,89a			0,75b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 12 - Volume de sistema radicular e relação raiz:copa de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
Volume de sistema radicular 60 DARF								
----- mL planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	48,8	43,8	40,4	44,3	32,9	36,3	26,7	32,0
PEG -15 kPa	47,5	51,3	48,8	49,2	40,8	39,6	30,0	36,8
PEG -25 kPa	36,7	39,6	44,6	40,3	32,9	34,2	30,6	32,6
Interrupção irrigação -15 kPa	40,4	45,0	36,3	40,6	33,3	34,2	30,4	32,6
Média	43,4	44,9	42,5		35,0	36,1	29,4	
Média Porta-enxerto	43,6a				33,5b			
Volume de sistema radicular 120 DARF								
----- mL planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	60,6	76,7	56,7	64,6 AB	74,4	83,3	61,7	73,1 A
PEG -15 kPa	66,1	88,3	56,1	70,2 AB	56,1	62,2	46,1	54,8 AB
PEG -25 kPa	57,8	65,0	30,0	50,9 B	41,7	46,7	27,2	38,5 B
Interrupção irrigação -15 kPa	73,9	92,8	78,9	81,9 A	61,7	50,6	47,8	53,3 AB
Média	64,6 ab	80,7 a	55,4 b		58,5 ab	60,7 a	45,7 b	
Média Porta-enxerto	66,9 a				55,0 b			
Relação raiz:copa 60 DARF								
----- g g ⁻¹ -----								
Capacidade de container	1,11	1,28	1,28	1,22B	1,28	1,15	1,14	1,19B
PEG -15 kPa	1,41	1,35	1,60	1,45A	1,45	1,31	1,49	1,42A
PEG -25 kPa	1,54	1,23	1,58	1,45A	1,62	1,24	1,34	1,40A
Interrupção irrigação -15 kPa	1,41	1,20	1,40	1,34AB	1,40	1,19	1,40	1,33AB
Média	1,37a	1,27b	1,46a		1,44a	1,22b	1,34a	
Média Porta-enxerto	1,36a				1,33a			
Relação raiz:copa 120 DARF								
----- g g ⁻¹ -----								
Capacidade de container	0,32	0,34	0,32	0,33 B	0,39	0,42	0,43	0,41 B
PEG -15 kPa	0,35	0,39	0,49	0,41 A	0,43	0,54	0,51	0,49 A
PEG -25 kPa	0,38	0,40	0,43	0,40 A	0,49	0,49	0,63	0,54 A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,33	0,37	0,39	0,36 AB	0,40	0,39	0,52	0,44 AB
Média	0,35 b	0,37 ab	0,41 a		0,43 b	0,46 ab	0,52 a	
Média Porta-enxerto	0,37 b				0,47 a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 13 - Aproveitamento comercial (%) de mudas de laranja ‘Valência’, enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
	60 DARF							
	----- % -----							
Capacidade de container	67	67	67	67A	23	27	43	31A
PEG -15 kPa	70	53	70	64AB	10	27	27	21AB
PEG -25 kPa	60	60	47	56B	17	27	10	18B
Interrupção irrigação -15 kPa	57	57	57	57AB	23	33	10	22AB
Média	64	59	60		18	29	23	
Média Porta-enxerto			52a				25b	
	120 DARF							
	----- % -----							
Capacidade de container	93	93	93	93A	87	100	80	89A
PEG -15 kPa	100	93	100	98A	80	73	87	80A
PEG -25 kPa	100	100	80	93A	67	87	47	67B
Interrupção irrigação -15 kPa	93	100	93	95A	93	87	60	80A
Média	97a	97a	92b		82a	87a	69b	
Média Porta-enxerto			95a				79b	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Potencial hídrico de folhas

Com relação ao período correspondente aos primeiros 60 dias após a retirada do fitilho (primeiro fluxo de crescimento), menor potencial hídrico de folhas foi registrado em plantas sobre limão ‘Cravo’ durante o *predawn* em comparação às plantas sobre citrumelo ‘Swingle’, não se verificando diferenças durante o período de máximo estresse (PME) (Tabela 14). O potencial hídrico durante o *predawn* foi cerca de cinco vezes maior do que aquele verificado durante o PME, ao longo do período de avaliação (Figura 13). Isto indica que, em todos os tratamentos, houve re-hidratação dos tecidos durante a noite, e que a água retida no substrato permitiu esta reposição mesmo ao final de um período de estresse. Em condições de estresse mais intenso, o potencial hídrico de folhas de citros pode ser tão baixo no *predawn* quanto no PME (RUIZ-SÁNCHEZ et al., 1997).

Plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e submetidas à deficiência hídrica por interrupção da irrigação atingiram menor potencial hídrico de folhas durante *predawn* em relação às plantas produzidas sob capacidade de container ou PEG, indicativo de maior dificuldade da planta em se re-hidratar (Tabela 14). Plantas enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’ não diferiram entre si. Entretanto, durante o PME, independentemente do porta-enxerto, o potencial hídrico entre plantas conduzidas sob capacidade de container ou interrupção da irrigação não diferiu. O PEG não reduziu o potencial hídrico das folhas, em relação às demais plantas. Este fato contradiz a teoria de que o PEG tem efeito indireto de dessecação sobre os vegetais (LAWLOR, 1970), já que maiores potenciais hídricos de folha estão relacionados a um maior grau de hidratação dos tecidos. As condições de estresse por interrupção da irrigação, até o potencial da água no substrato atingir -15kPa , não parecem ser prejudiciais às mudas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, pois a menor faixa de potencial hídrico foliar atingida ainda representa plantas geralmente submetidas a estresse moderado (TAIZ; ZEIGER, 2004). Observações pontuais realizadas durante as avaliações experimentais indicaram que apenas folhas apresentando murcha intensa atingiram potencial hídrico mínimo de $-3,0\text{ MPa}$.

No quarto e último dia de avaliação, após a restauração da capacidade de container em plantas submetidas à interrupção prévia da irrigação, verificou-se que o potencial hídrico das folhas aumentou e se equipareceu ao potencial hídrico de folhas de plantas conduzidas sob capacidade de container, seja no *predawn* ou no PME (Figura 13). As plantas cítricas apresentam rápida recuperação de potencial hídrico em consequência de irrigação após períodos de seca (PÉREZ-PÉREZ et al., 2007), e esta parece ser uma adaptação bem estabelecida em plantas sobre limão ‘Cravo’.

Com relação ao período correspondente ao segundo fluxo de crescimento do enxerto, ou seja, 120 dias após a retirada do filhote, plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram potencial hídrico superior às que sobre citrumelo ‘Swingle’ somente durante o PME, por volta das 14h (Tabela 15). Isto sugere uma maior tolerância do limão ‘Cravo’ ao nível de interrupção de irrigação avaliada.

Tabela 14 - Potencial hídrico (Ψ_w) de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia, durante predawn e período de máximo estresse (PME) (n = 15). Piracicaba, 2007

Deficiência hídrica	Predawn			PME		
	Porta-enxerto			Porta-enxerto		
	Limão 'Cravo'	Citrumelo 'Swingle'	Média	Limão 'Cravo'	Citrumelo 'Swingle'	Média
Capacidade de container			-0,20A			-
PEG -15 kPa	-0,21Aa	-0,19Aa	-0,20A	-1,17	-1,21	0,86AB
PEG -25 kPa	-0,19Aa	-0,21Aa	-0,20A	-0,85	-1,26	-0,77A
Inter. irrigação -15 kPa	-0,21Aa	-0,20Aa	-0,21A	-0,89	-1,02	-0,71A
Média	-0,39Bb	-0,23Aa	-0,31B	-1,71	-1,44	-1,15B
	-0,25b	-0,20a		-1,16	-1,23	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

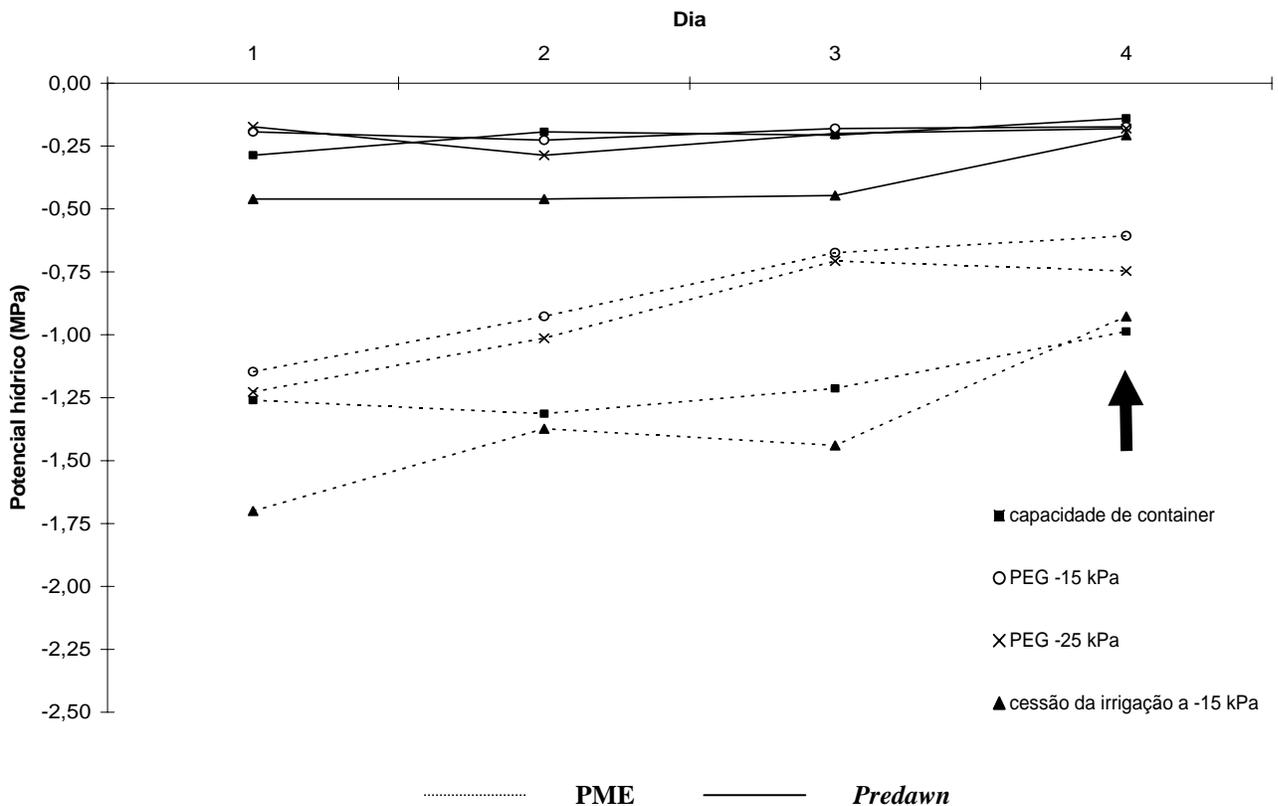


Figura 13 - Potencial hídrico de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, durante período de máximo estresse (PME) e predawn, ao longo de quatro dias consecutivos. Cada ponto em um dia corresponde à média de seis plantas. A seta indica quando foi realizada irrigação para recuperação de capacidade de container em plantas submetidas à interrupção da irrigação (n=6). Piracicaba, 2007

O potencial hídrico apresentou comportamento completamente distinto entre os períodos de *predawn* e PME 120 dias após a retirada do fitilho (Tabela 15). Antes do amanhecer, a indução de estresse, independente do método, acarretou menor potencial hídrico para citrumelo ‘Swingle’, resultado observado apenas para estresse por PEG a -25kPa em plantas sobre o limão ‘Cravo’. Já no período vespertino, houve uma inversão, de modo que a indução pelo PEG acarretou maior potencial hídrico em relação à interrupção de irrigação e capacidade de container nos dois porta-enxertos. A fase de indução também foi significativa para influenciar no potencial hídrico durante o PME, uma vez que plantas submetidas ao estresse durante o período de avaliação, ou seja, nas fases 2 e 3 de crescimentos apresentaram maior potencial hídrico nas folhas sem pecíolos. Este resultado não era esperado, uma vez que plantas referentes à Fase 1 estavam sendo conduzidas sem deficiência hídrica, portanto com maior possibilidade de se manter hidratadas no PME. Por outro lado, nesta fase não houve aplicação de PEG, fator de aumento de potencial hídrico durante a tarde (PME).

Tabela 15 - Potencial hídrico (Ψ_w) de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia, durante *predawn* e período de máximo estresse (PME) (n = 9). Piracicaba, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
	<i>Predawn</i>							
	----- MPa -----							
Capacidade de container	-0,26	-0,20	-0,23	-0,23A	-0,22	-0,21	-0,23	-0,22A
PEG -15 kPa	-0,18	-0,39	-0,29	-0,29A	-0,39	-0,37	-0,31	-0,36B
PEG -25 kPa	-0,43	-0,44	-0,34	-0,40B	-0,33	-0,32	-0,32	-0,32B
Interrupção irrigação -15 kPa	-0,26	-0,22	-0,23	-0,24A	-0,28	-0,27	-0,47	-0,34B
Média	-0,28a	-0,31a	-0,27a		-0,31a	-0,29a	-0,33a	
Média Porta-enxerto		-0,29a				-0,31a		
	<i>PME</i>							
	----- MPa -----							
Capacidade de container	-1,29	-1,24	-1,14	-1,22B	-1,07	-1,25	-1,22	-1,18B
PEG -15 kPa	-1,05	-0,78	-0,74	-0,86A	-1,28	-0,98	-0,95	-1,07A
PEG -25 kPa	-0,93	-0,67	-0,76	-0,79A	-0,87	-1,01	-0,83	-0,90A
Interrupção irrigação -15 kPa	-1,29	-1,11	-1,02	-1,14B	-1,32	-1,06	-1,25	-1,21B
Média	-1,14b	-0,95a	-0,92a		-1,14b	-1,08a	-1,06a	
Média Porta-enxerto		-1,00a				-1,09b		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Trocas gasosas

As variáveis de condutância estomática, taxa líquida de assimilação de CO₂ e transpiração, relacionadas à fotossíntese, foram influenciadas pelo método de indução de estresse ao final do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada do fitilho de enxertia, independentemente do porta-enxerto (Tabela 16). Condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂ e transpiração foram reduzidas durante as fases em que houve indução de estresse (Fases 2 e 3) (Tabela 16), somente pela aplicação de PEG na maior concentração (-25KPa). A temperatura foliar não foi influenciada pelos tratamentos. Trabalhos envolvendo mudas cítricas produzidas em condições similares às deste experimento reportam como valores médios de taxa de assimilação de CO₂ ao redor de 8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, na ausência de deficiência hídrica (MEDINA, 1997). Porém, quando o substrato atingiu potencial hídrico de -13kPa, as taxas fotossintéticas de mudas de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’ diminuíram para uma faixa de 2 a 3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a mesma observada neste experimento (Tabela 16). Os valores de condutância estomática verificada neste experimento para plantas não submetidas à deficiência hídrica são inferiores aos verificados por Zekri (1991) em mudas cítricas mantidas sob regime ótimo de irrigação (0,23 a 0,14 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), porém similares aos de plantas submetidas a PEG de -10 a -30KPa (0,04 a 0,06 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A redução de transpiração neste trabalho não foi similar àquela reportada naquela pesquisa, em que se verificou uma diminuição de até 80% devido à aplicação do PEG a partir de potenciais osmóticos inferiores ou iguais a -20KPa.

As folhas adotadas como padrão neste trabalho corresponderam às do terço médio da haste central das plantas, para que as medições fossem realizadas em um mesmo internódio correspondente em todos os tratamentos. Desta maneira, como as plantas foram produzidas sobre bancada simulando as condições de produção comercial de mudas cítricas, observou-se alto sombreamento das folhas devido à elevada densidade (65 plantas/m²), o que pode explicar a menor taxa de assimilação de CO₂. As baixas temperaturas e déficit de pressão de vapor atmosférico durante o período de avaliação ($\pm 22^{\circ}\text{C}$, mesmo próximo ao meio-dia), e, conseqüentemente, a menor temperatura foliar, também podem ter contribuído para a redução da taxa fotossintética em média (Tabela 16; Figura 14).

Tabela 16 - Condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂, transpiração e temperatura do limbo foliar de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (n=6). Piracicaba, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'			Média	Citrumelo 'Swingle'			Média
	Período de estresse*				Período de estresse			
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3			
Condutância estomática								
----- mol m ⁻² s ⁻¹ -----								
Capacidade de container	0,087	0,087	0,087	0,087AB	0,081	0,081	0,081	0,081AB
PEG -15 kPa	0,222	0,077	0,053	0,117AB	0,166	0,077	0,053	0,099AB
PEG -25 kPa	0,167	0,034	0,020	0,074B	0,093	0,037	0,053	0,061B
Interrupção irrigação -15 kPa	0,124	0,128	0,136	0,129A	0,129	0,100	0,075	0,101A
Média	0,150a	0,082b	0,074b		0,117a	0,074b	0,066b	
Média Porta-enxerto		0,101			0,085			
Taxa de assimilação de CO ₂								
----- μmol m ⁻² s ⁻¹ -----								
Capacidade de container	2,65	2,65	2,65	2,65AB	2,71	2,71	2,71	2,71AB
PEG -15 kPa	4,41	2,53	1,64	2,86A	4,01	2,74	1,83	2,86A
PEG -25 kPa	4,57	1,02	0,48	2,02B	3,27	1,44	1,83	2,18B
Interrupção irrigação -15 kPa	3,11	3,12	3,22	3,15A	3,29	2,83	3,44	3,19A
Média	3,69a	2,33b	2,00b		3,32a	2,43b	2,45b	
Média Porta-enxerto		2,67			2,73			
Transpiração								
----- mmol m ⁻² s ⁻¹ -----								
Capacidade de container	1,78	1,78	1,78	1,78A	1,61	1,61	1,61	1,61A
PEG -15 kPa	3,47	1,49	1,06	2,01A	2,97	1,43	1,04	1,81A
PEG -25 kPa	2,70	0,70	0,44	1,28B	1,78	0,76	0,99	1,18B
Interrupção irrigação -15 kPa	2,28	2,10	2,13	2,17A	2,14	1,78	1,40	1,77A
Média	2,56a	1,52b	1,35b		2,13a	1,40b	1,26b	
Média Porta-enxerto		1,81			1,59			
Temperatura foliar								
----- °C -----								
Capacidade de container	24,6	24,6	24,6	24,6	24,8	24,8	24,8	24,8
PEG -15 kPa	23,9	24,2	24,2	24,1	24,3	24,0	23,7	24,0
PEG -25 kPa	24,0	23,8	24,3	24,0	24,4	24,2	23,0	23,9
Interrupção irrigação -15 kPa	24,2	24,2	22,7	23,7	24,3	23,9	22,9	23,7
Média	24,2	24,2	24,0		24,5	24,2	23,6	
Média Porta-enxerto		24,1			24,1			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

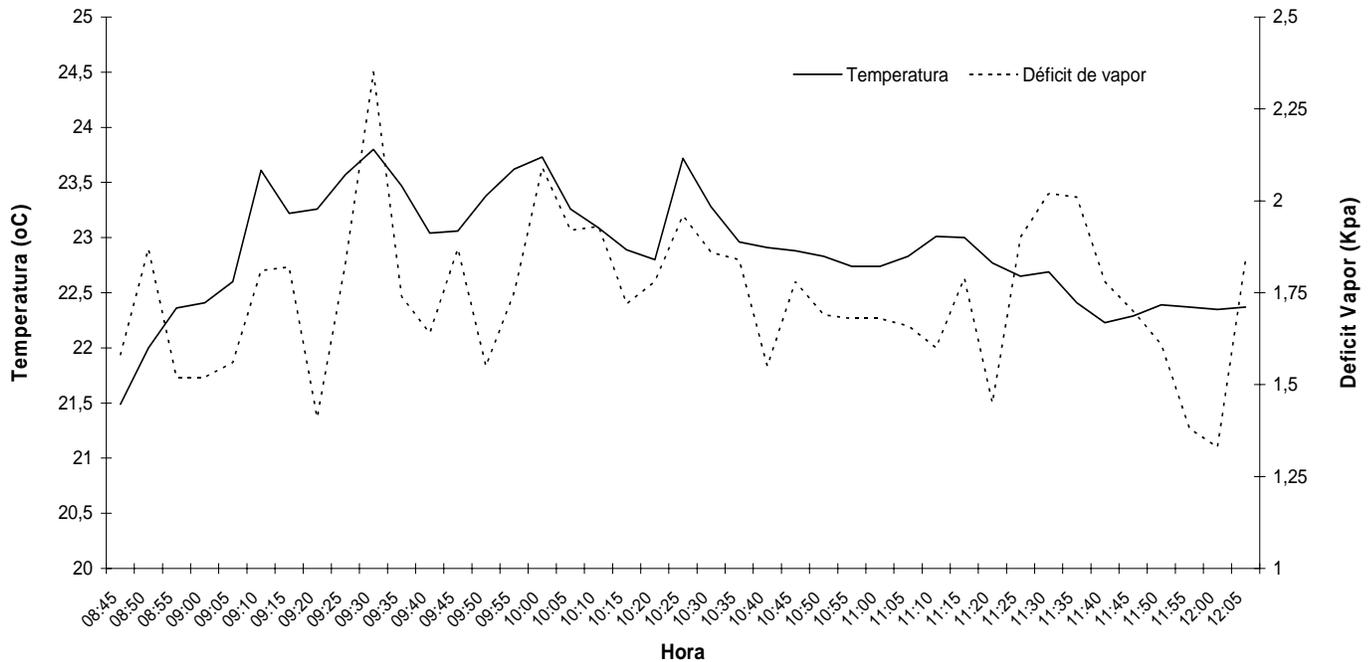


Figura 14 - Temperatura e déficit de pressão de vapor atmosférico, registrados durante período de medição de variáveis de fotossíntese de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2007

O PEG, portanto, afeta o aparato fotossintético das plantas cítricas de maneira distinta dos efeitos decorrentes de deficiência hídrica por interrupção da irrigação, sendo mais severo dentro da mesma faixa de potencial osmótico. Embora se conserve um maior potencial hídrico das folhas, há redução da condutância estomática e da fotossíntese, sugerindo limitações à difusão de CO₂. Alterações nas propriedades da membrana plasmática também decorrem da aplicação de PEG (ZHAO et al., 2008). Entretanto, esta influência depende da espécie, uma vez que tratamento com PEG através de procedimentos como o halocondicionamento em outras culturas promove a adaptação e preparo de mudas para condições adversas, resultando inclusive em melhor desempenho fisiológico (BALIBREA et al., 1999; FALTENOVICH; WELBAUM, 2008).

Concentração foliar de macro e micronutrientes

A concentração de nutrientes nas folhas do enxerto foi influenciada pelo porta-enxerto e método de indução de deficiência hídrica, sendo alterada conforme a fase em que se induziu o estresse (Tabelas 17 a 19). De maneira geral, citrumelo ‘Swingle’ levou a maiores concentrações foliares de N, P, Ca, Mg e B, enquanto limão ‘Cravo’ acarretou maiores concentrações dos

micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas de laranja ‘Valência’. As concentrações de nutrientes estão dentro da faixa ótima de nutrição mineral de citros, seja em ramos não frutíferos em pomares ou em mudas em containeres (BATAGLIA et al., 2008; HANLON; OBREZA; ALVA, 1995), a exceção das plantas sobre o limão ‘Cravo’, que apresentaram baixas concentrações de N. Contudo, considerando-se que as plantas foram adubadas pela última vez antes da enxertia, cerca de 150 dias antes do final das avaliações, e que se verificou um elevado aproveitamento comercial (Tabela 13), considera-se que o estado nutricional foi adequado para atender às expectativas de produção comercial de mudas de citros, sejam as plantas mantidas sob capacidade de container ou sob interrupção da irrigação até o potencial hídrico do substrato atingir -15 kPa.

Plantas submetidas à deficiência hídrica induzida por PEG apresentaram sintomas de fitotoxidez aparentemente associados a desequilíbrio nutricional (Figuras 11 e 12). De maneira geral, o emprego de PEG como indutor de estresse hídrico reduziu concentrações foliares de N e K, e aumentou as concentrações de Ca, B, e em especial Fe, Mn e Zn. Parte desta maior concentração foliar poderia ser explicada pelos menores valores de pH verificado em substrato irrigado com solução contendo PEG (Figuras 8 e 9), favorecendo assim a absorção de micronutrientes catiônicos, ou mesmo pela presença de metais contaminantes no polietileno. Zekri (1991, 1995) propõe que os efeitos fitotóxicos do PEG poderiam advir do maior acúmulo de Zn e Mn em raízes e folhas de citros. Apesar dos citros serem considerados tolerantes ao Mn, plantas de limão ‘Volkameriano’ sob altas concentrações de Mn apresentaram redução na eficiência fotossintética a partir da radiação de $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (PAPADAKIS et al., 2007). A absorção e transporte de nutrientes, como Ca e Na, sofrem alteração pela adição de PEG na irrigação de outras espécies vegetais (KUMIKO; TORU, 2004), indicando possíveis efeitos diretos do PEG sobre a dinâmica de alguns nutrientes.

A menor concentração foliar de N observada neste trabalho com o uso do PEG (Tabela 17) também pode estar ligada a uma redução na atividade da redutase do nitrato pelo PEG, como já observado em *seedlings* de cevada tratados com soluções nutritivas contendo esse produto (KOCHEVA; GEORGIEV; VUNKOVA-RADEVA, 2008). Concentrações foliares de P, Mg e Cu observadas nas mudas de citros não sofreram influência do método de indução de deficiência hídrica (Tabelas 17 e 18), como reportado em trabalhos anteriores (ZEKRI, 1991 e 1995).

Tabela 17 - Concentração foliar de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
N								
----- g kg ⁻¹ -----								
Capacidade de container	26,72	26,65	29,45	27,61A	32,34	31,13	33,04	32,17AB
PEG -15 kPa	27,72	27,58	27,86	27,72A	31,24	26,97	29,38	29,20C
PEG -25 kPa	29,87	24,45	26,69	27,00B	33,46	28,26	30,61	30,78BC
Interrupção irrigação -15 kPa	26,23	30,10	25,98	27,44A	32,39	33,53	33,27	33,06A
Média	27,64a	27,20a	27,50a		32,36a	29,97b	31,58a	
Média Porta-enxerto	27,44b				31,35a			
P								
----- g kg ⁻¹ -----								
Capacidade de container	1,36	1,38	1,36	1,37	1,49	1,56	1,65	1,57
PEG -15 kPa	1,43	1,41	1,40	1,41	1,56	1,52	1,56	1,55
PEG -25 kPa	1,63	1,16	1,56	1,45	1,65	1,52	1,67	1,61
Interrupção irrigação -15 kPa	1,38	1,41	1,25	1,35	1,56	1,56	1,67	1,60
Média	1,45	1,34	1,39		1,57	1,54	1,64	
Média Porta-enxerto	1,39b				1,58a			
K								
----- g kg ⁻¹ -----								
Capacidade de container	21,83	21,00	23,50	22,11A	21,33	22,00	22,83	22,05A
PEG -15 kPa	19,33	22,67	20,00	20,67B	20,33	22,17	18,33	20,28B
PEG -25 kPa	19,00	22,00	16,67	19,22B	20,33	23,33	20,28	21,31B
Interrupção irrigação -15 kPa	23,33	23,83	21,33	22,83A	21,00	22,33	23,00	22,11A
Média	20,87b	22,38a	20,38b		20,75b	22,46a	21,11b	
Média Porta-enxerto	21,10a				21,52a			
Ca								
----- g kg ⁻¹ -----								
Capacidade de container	23,52	24,08	23,88	23,83B	27,19	27,54	26,22	26,98AB
PEG -15 kPa	28,63	23,15	24,98	25,59AB	28,82	26,00	29,38	28,07A
PEG -25 kPa	24,53	26,86	26,98	26,12A	25,38	25,15	27,43	25,99B
Interrupção irrigação -15 kPa	24,01	23,44	25,37	24,27B	26,26	25,02	25,91	25,73B
Média	25,17ab	24,38b	25,30a		26,91ab	25,93b	27,24a	
Média Porta-enxerto	24,95b				26,61a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 18 - Concentração foliar de magnésio, boro, ferro e cobre, de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fítilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
	Mg g kg ⁻¹							
Capacidade de container	3,07	2,82	2,82	2,90	4,09	4,17	4,00	4,09
PEG -15 kPa	2,82	3,05	2,78	2,88	3,63	4,10	3,71	3,81
PEG -25 kPa	2,70	3,07	3,01	2,93	3,55	3,93	3,80	3,76
Interrupção irrigação -15 kPa	2,74	2,81	3,01	2,85	4,02	4,07	3,91	4,00
Média	2,83b	2,94a	2,91ab		3,82b	4,07a	3,86ab	
Média Porta-enxerto		2,89b				3,91a		
	B mg kg ⁻¹							
Capacidade de container	42,8	50,5	43,3	45,5B	48,6	47,9	52,4	49,6B
PEG -15 kPa	55,5	47,3	52,5	51,8A	58,6	49,9	58,5	55,7A
PEG -25 kPa	54,9	42,6	46,2	47,9AB	58,0	49,2	55,0	54,1AB
Interrupção irrigação -15 kPa	48,8	41,9	37,4	42,7B	52,9	54,2	57,6	54,9AB
Média	50,5a	45,6b	44,9b		54,5a	50,3b	55,9a	
Média Porta-enxerto		46,9b				53,4a		
	Fe mg kg ⁻¹							
Capacidade de container	108,7	96,7	105,0	103,5B	94,7	102,3	102,0	99,7B
PEG -15 kPa	127,3	100,7	111,7	113,2A	101,7	101,0	115,0	105,9A
PEG -25 kPa	120,0	111,7	125,7	119,1A	107,7	91,3	126,3	108,4A
Interrupção irrigação -15 kPa	96,0	106,0	96,0	99,3B	98,0	102,7	98,7	99,8B
Média	113,0a	103,8b	109,6a		100,5ab	99,3b	110,5a	
Média Porta-enxerto		108,8a				103,4b		
	Cu mg kg ⁻¹							
Capacidade de container	143,0	113,7	98,0	118,2	85,3	80,0	86,7	84,0
PEG -15 kPa	154,7	99,0	122,0	125,2	71,0	79,0	130,7	93,6
PEG -25 kPa	142,3	134,3	153,0	143,2	82,0	62,3	118,2	87,5
Interrupção irrigação -15 kPa	107,7	110,0	102,0	106,6	78,5	89,3	82,0	83,3
Média	136,9a	114,3b	118,8b		79,2b	77,7b	104,4a	
Média Porta-enxerto		123,3a				87,1b		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 19 - Concentração foliar de manganês e zinco de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
	Mn ----- mg kg ⁻¹ -----							
Capacidade de container	101,0	93,3	99,8	98,0C	80,7	80,7	71,3	77,6C
PEG -15 kPa	131,7	97,0	116,7	115,1B	75,7	70,7	90,7	79,0BC
PEG -25 kPa	130,7	99,0	135,7	121,8A	96,7	76,7	95,2	89,5A
Interrupção irrigação -15 kPa	95,0	100,7	95,0	96,9C	85,3	84,7	75,5	81,8B
Média	114,6a	97,5b	111,8a		84,6a	78,2b	83,2a	
Média Porta-enxerto		107,9a				81,9b		
	Zn ----- mg kg ⁻¹ -----							
Capacidade de container	34,7	34,3	35,7	34,9B	33,7	34,0	31,7	33,1AB
PEG -15 kPa	40,0	34,7	36,7	37,1AB	37,0	30,7	35,7	34,5A
PEG -25 kPa	39,0	35,3	43,3	39,2A	34,7	32,3	35,2	34,1A
Interrupção irrigação -15 kPa	39,0	38,7	35,7	37,8AB	34,3	31,2	27,3	30,9B
Média	38,2a	35,8a	37,9a		34,9a	32,1a	32,5a	
Média Porta-enxerto		37,2a				33,1b		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Concentração foliar de clorofila

Plantas sobre limão 'Cravo' apresentaram menor concentração foliar de clorofila 120 dias após a retirada de fitilho de enxertia (Tabela 20). A faixa de valores de concentração foliar de clorofila é similar à verificada em plantas de laranja 'Valência' sobre os mesmos porta-enxertos, no primeiro ano de plantio (GIRARDI; MOURÃO FILHO, 2004). A indução de deficiência hídrica reduziu a concentração de clorofila, quando se empregou PEG, refletindo a redução de concentração de N no tecido foliar (Tabela 19). Zekri (1991) verificou que plantas da laranja azeda e tangerina 'Cleópatra' apresentaram redução da concentração foliar de clorofila quando tratadas com PEG a -10, -20 e -35 KPa, levando a menor taxa fotossintética destas espécies, da mesma forma como constatado neste experimento. Plantas que sofreram estresse por PEG apenas durante a Fase 1 (1º fluxo) apresentaram os mesmos valores de SPAD que plantas controle ou submetidas à interrupção da irrigação, uma vez que as folhas amostradas foram provenientes do

2º fluxo de crescimento. Este é mais um indicativo de que o crescimento das plantas só foi afetado pelo PEG durante o período de sua aplicação, sem maiores efeitos residuais.

Tabela 20 - Concentração foliar de clorofila de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
	----- SPAD ¹ -----							
Capacidade de container	63,3	59,9	66,9	63,4A	73,1	70,4	74,7	72,7A
PEG -15 kPa	64,5	52,4	51,4	56,1B	71,1	65,3	63,4	66,6B
PEG -25 kPa	68,8	47,6	47,0	54,5B	74,3	61,6	66,7	67,5B
Interrupção irrigação -15 kPa	62,4	65,0	64,4	63,9A	72,0	75,2	73,6	73,6A
Média	64,8a	56,2b	57,4b		72,6a	68,1b	69,6b	
Média Porta-enxerto	59,4b				70,1a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

¹SPAD: índice absoluto “Soil Plant Analysis Development”, que avalia quantitativamente a intensidade da cor verde da folha (GIRARDI; MOURÃO FILHO; PIEDADE, 2007).

Concentração foliar de prolina

A faixa de concentração foliar de prolina observada neste experimento é semelhante à de trabalhos anteriores com citros (MOLINARI et al., 2004; NOLTE; HANSON; GAGE, 1997). Plantas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’ acumularam maior quantidade de prolina do que aquelas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ durante a interrupção da irrigação a -15 kPa (Tabela 21). O uso de PEG reduziu o acúmulo de prolina nas folhas, especialmente a -25 kPa, durante todas as fases de indução de estresse, em plantas sobre citrumelo ‘Swingle’. O mesmo ocorreu em plantas sobre limão ‘Cravo’ durante a segunda fase de crescimento, sendo que plantas sobre este porta-enxerto foram visualmente mais tolerantes à aplicação do PEG. A fase 2 se mostrou mais sensível à presença do PEG em ambos os porta-enxertos, talvez devido ao maior tamanho da planta quando do início da aplicação deste osmólito. Este comportamento difere de outras espécies, como o tomate, em que tratamento com PEG em concentrações mais elevadas ampliou o acúmulo de prolina em mudas (BALIBREA et al., 1999).

Tabela 21 - Concentração foliar de prolina de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (n=3). Piracicaba, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
	----- $\mu\text{M g}^{-1}$ MF -----							
Capacidade de container	8,5	8,4A	8,7AB	8,5 A	6,8B	6,1B	7,2B	6,5 B
PEG -15 kPa	7,0	4,1B	10,7A	7,0 A	11,1A	6,2B	12,6A	9,9 AB
PEG -25 kPa	7,9	5,6B	6,5B	6,7 A	9,2AB	4,9B	7,3B	7,1 B
Interrupção irrigação -15 kPa	9,5	8,2A	7,6B	8,5 A	8,9AB	13,8A	13,1A	11,9 A
Média	8,2 ab	6,6 b	8,3 a		9,0 ab	7,9 b	9,9 a	
Média Porta-enxerto	7,7 b				8,9 a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Concentração de Carboidratos

Com relação ao acúmulo de amido, 120 dias após a retirada do fitilho, plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram maiores concentrações deste carboidrato de reserva em folhas e raízes (Tabela 22). Considerando-se que estas plantas também acumularam maior massa de matéria seca de parte aérea e sistema radicular (Tabelas 7 a 10), o acúmulo total de amido foi cerca de duas vezes maior para a laranja ‘Valência’ sobre este porta-enxerto.

De maneira geral, a aplicação de PEG reduziu intensamente a concentração de amido em todos os órgãos avaliados para ambos os porta-enxertos (Tabela 22), refletindo a menor taxa fotossintética neste tratamento (Tabela 16). A interrupção de irrigação afetou o acúmulo de amido apenas em folhas, órgão mais sensível aos efeitos da deficiência hídrica. O amido armazenado nos cloroplastos é rapidamente metabolizado pelas plantas, seja em ciclos diários, seja por períodos prolongados, e constitui reserva importante para uso durante períodos mais curtos de estresse (RIBEIRO, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2004). As reservas existentes no caule, por sua vez, foram muito baixas. Folhas de laranja ‘Valência’, ao contrário de espécies decíduas, acumulam carboidratos duas vezes mais rápido que no caule (YELENOSKY; GUY, 1977).

Por apresentar maiores reservas totais, plantas sobre limão ‘Cravo’ poderiam suportar período de estresse por mais tempo. A elevada concentração de amido no sistema radicular das duas espécies estudadas, em condições ótimas ou sob estresse, indicam possível importância do acúmulo de amido neste órgão para citros, ao menos por períodos curtos sob condições adversas do ambiente. Acúmulo total de carboidratos no sistema radicular tem maior importância para espécies lenhosas justamente em mudas e árvores jovens, que apresentam uma razão raiz:copa mais próxima de um (PALLARDY, 2008), como as observadas neste experimento.

Tabela 22 - Concentração de amido em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de filhinho da enxertia. São Paulo, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Órgão		Órgão		Órgão		Órgão	
	Folha	Caule	Raiz	Média	Folha	Caule	Raiz	Média
	Amido ----- mg g ⁻¹ MS -----							
Capacidade de container	130,2Ab	25,0Ac	159,4Aa	104,8A	53,3Aab	37,3Ab	101,7Aa	64,1A
PEG -25 kPa	18,3 Cb	12,8Bb	112,9Ba	47,9B	31,5ABb	30,5Bb	67,6Ba	43,1B
Interrupção irrigação -15 kPa	27,9 Bb	20,5Ab	148,5Aa	65,6AB	23,6Bc	32,9ABb	103,3Aa	53,2AB
Média	58,8 b	19,4 c	140,2 a		36,1 b	33,6 b	90,8 a	
Média Porta-enxerto	72,8 a				53,5 b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

As concentrações de açúcares redutores (glucose e frutose) e não-redutores (sacarose) observadas neste experimento (Tabela 23) são similares às registradas para diversas espécies cítricas (LI; WEISS; GOLDSCHMIDT, 2003; RAVEH et al., 2003; VU; YELENOSKY, 1989). Citros estão incluídos no grupo de plantas em que quase a totalidade de açúcares translocáveis corresponde à sacarose, que por sua vez é metabolizada a açúcares redutores para consumo energético ou estrutural em nível local. Durante as análises de cromatografia líquida de alta performance, apenas esses três carboidratos foram identificados nas amostras de quaisquer tecidos, embora diversas impurezas e substâncias não-identificadas de baixo peso molecular tenham sido determinadas em baixíssimas concentrações (Figura 15).

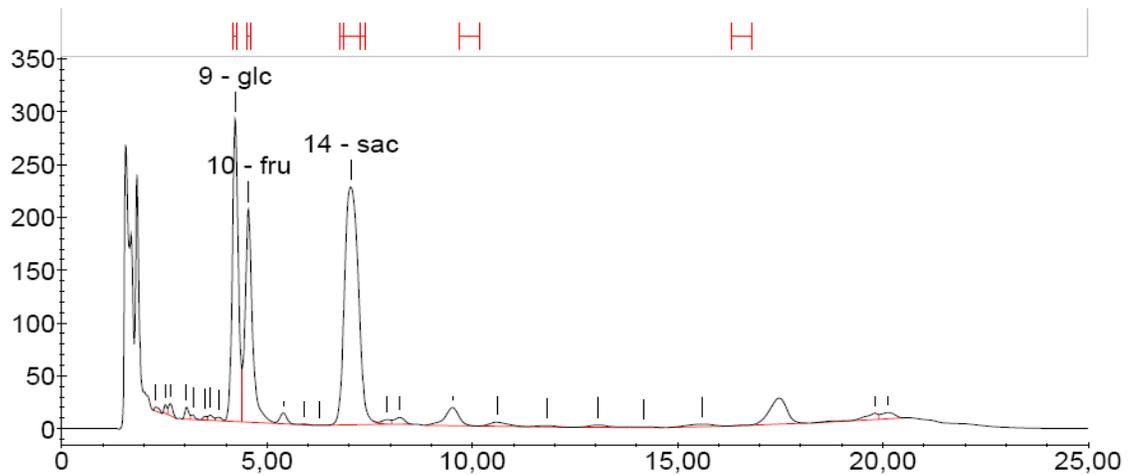


Figura 15 - Exemplo de cromatograma para carboidratos solúveis em tecido de mudas de laranja ‘Valência’ obtido via cromatografia líquida de alta performance. Cada pico corresponde a uma substância em período compreendido entre 0 e 25 minutos. glc = glucose; fru = frutose; sac = sacarose. São Paulo, 2007

Após a maturação do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada do fitilho, plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram maiores concentrações de glucose, frutose e sacarose do que aquelas sobre citrumelo ‘Swingle’ (Tabela 23). Assim, reproduziu-se o padrão observado para a concentração de amido (Tabela 22), o que sugere que limão ‘Cravo’ induz maiores reservas de carboidratos em geral.

Em geral, maiores concentrações de carboidratos solúveis foram observadas nas folhas (Tabela 23), porém, em plantas sobre citrumelo ‘Swingle’, as concentrações de sacarose se equivaleram nos três órgãos estudados. Em plantas sobre limão ‘Cravo’, o sistema radicular registrou as menores concentrações de todos os carboidratos solúveis, sendo que o caule de enxerto apresentou concentrações intermediárias. Estas diferenças podem refletir um gradiente de concentração entre o órgão fotossintetizante e o dreno principal no momento das avaliações. No caso de plantas sobre citrumelo ‘Swingle’, resultados semelhantes só foram observados para o comportamento dos açúcares redutores.

Considerando-se a deficiência hídrica aplicada, de maneira geral as concentrações de carboidratos solúveis foram reduzidas pelos dois tipos de indução de estresse, a não ser pela glucose (Tabela 23). Não foi possível determinar, porém, um comportamento definido para cada carboidrato por órgão vegetal. Mesmo assim, pode-se afirmar que plantas sobre citrumelo

‘Swingle’ foram mais afetadas pela aplicação de PEG a -25kPa enquanto plantas sobre limão ‘Cravo’ foram mais sensíveis à interrupção da irrigação até um potencial hídrico de -15kPa no substrato. Folhas de mudas de dois anos de idade, de laranja ‘Valência’ sobre limão rugoso (*Citrus jambhiri* Lush.), apresentaram redução de cerca de 50% no conteúdo de carboidratos solúveis após dez dias sob déficit hídrico intenso.

Tabela 23 - Concentração de glicose, frutose e sacarose, e relação fonte: dreno em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Órgão		Raiz	Média	Órgão		Raiz	Média
Folha	Caule	Folha			Caule			
	Glucose mg g ⁻¹ MS							
Capacidade de container	61,2Aa	40,6Ab	12,4Ac	38,1A	43,3Aa	16,8b	8,0Bb	22,7A
PEG -25 kPa	74,9Aa	21,1Bb	12,0Ab	36,0A	9,3Ba	16,2a	7,3Ba	10,9A
Interrup. irrigação -15 kPa	40,4Ba	30,7ABa	10,8Ab	27,3A	41,7Aa	16,5b	20,9Aab	26,4A
Média	58,8a	30,8b	11,8c		31,4a	16,5b	12,1b	
Média porta-enxerto		33,8a				20,0b		
	Frutose mg g ⁻¹ MS							
Capacidade de container	42,9Aa	35,8Aa	8,5Ab	29,1A	22,6Aa	12,9Ab	7,5Bb	14,4A
PEG -25 kPa	38,6Aa	15,5Bb	6,7Ac	20,3AB	5,7Ba	6,9Aa	6,9Ba	6,5B
Interrup. irrigação -15 kPa	23,6Ba	21,7ABab	6,7Ab	17,4B	26,2Aa	10,2Ab	21,3Aab	19,2A
Média	35,1a	24,3b	7,3c		18,2a	10,0b	11,9b	
Média porta-enxerto		22,2a				13,4b		
	Sacarose mg g ⁻¹ MS							
Capacidade de container	123,0Aa	104,5Aa	52,4Ab	93,3A	55,5A	39,5A	37,7A	44,2AB
PEG -25 kPa	92,5A	68,0B	48,8A	69,8AB	26,3B	28,0A	44,1A	32,8B
Interrup. irrigação -15 kPa	93,3Aa	50,5Bb	45,2Ab	63,0B	86,7A	45,8A	76,1A	69,5A
Média	102,9a	74,3b	48,8b		56,2a	37,8a	52,6a	
Média porta-enxerto		75,4a				48,9b		
	Relação Fonte: Dreno							
Capacidade de container	1,39	1,38AB	2,63	1,80A	1,43B	1,19A	2,42B	1,68A
PEG -25 kPa	0,87	1,89A	2,61	1,79A	2,52A	1,11A	3,22A	2,29A
Interrup. irrigação -15 kPa	1,68	1,01B	2,57	1,75A	1,31B	1,56A	1,81B	1,56A
Média	1,31b	1,43b	2,61a		1,76ab	1,29b	2,48a	
Média porta-enxerto		1,78a				1,84a		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

A relação fonte:dreno indica a proporção entre sacarose e açúcares redutores (TAIZ; ZEIGER, 2004). Uma relação superior a 1 indica que há maior proporção de sacarose e, portanto, aquele órgão se encontra como fonte de fotoassimilados no momento. As mudas avaliadas ao final do experimento apresentaram relação fonte: dreno característica de fonte (Tabela 23). Este comportamento era esperado, pois, as plantas não apresentavam brotações tenras no momento da amostragem, estando em pleno processo de maturação de folhas e caule do 2º fluxo de crescimento, e assim em fase de acúmulo de reservas para sua disponibilização para futuros drenos como um 3º fluxo. Mudas cítricas contendo grandes quantidades de reserva de carbono apresentam excelente desempenho após plantio no campo, sendo que podas exageradas da parte aérea reduzem o potencial de crescimento já que caule e folhas inseridos na metade mais alta da muda contêm 45% das reservas de carboidratos não-estruturais (amido + solúveis) da planta (RABE, 2000).

A participação relativa de um determinado carboidrato solúvel variou com o órgão vegetal (Figura 16). Sacarose representou cerca de 70% dos carboidratos solúveis nas raízes, sem haver diferença entre os açúcares redutores. Em porta-enxertos de tangerina ‘Cleópatra’ e citrange ‘Troyer’, a sacarose foi o carboidrato mais abundante tanto em folhas como em raízes, participando com pelo menos 60% do total de açúcares (ANJUM, 2008). A proporção entre glucose e frutose foi próxima de um. Os diferentes tratamentos de deficiência hídrica ou mesmo ausência de estresse não alteraram de maneira significativa ($P < 0,05$) a proporção dos carboidratos pelos órgãos vegetais, o que corrobora estudos que apontam que as plantas tendem a conservar uma relação constante de carboidratos solúveis sob diferentes circunstâncias do meio como mecanismo de sobrevivência (PALLARDY, 2008). Os porta-enxertos também não alteraram a proporção entre carboidratos ao final do 2º fluxo de crescimento, de maneira que as plantas apresentavam, em sua matéria seca total, 25, 15 e 60% de glucose, frutose e sacarose, respectivamente.

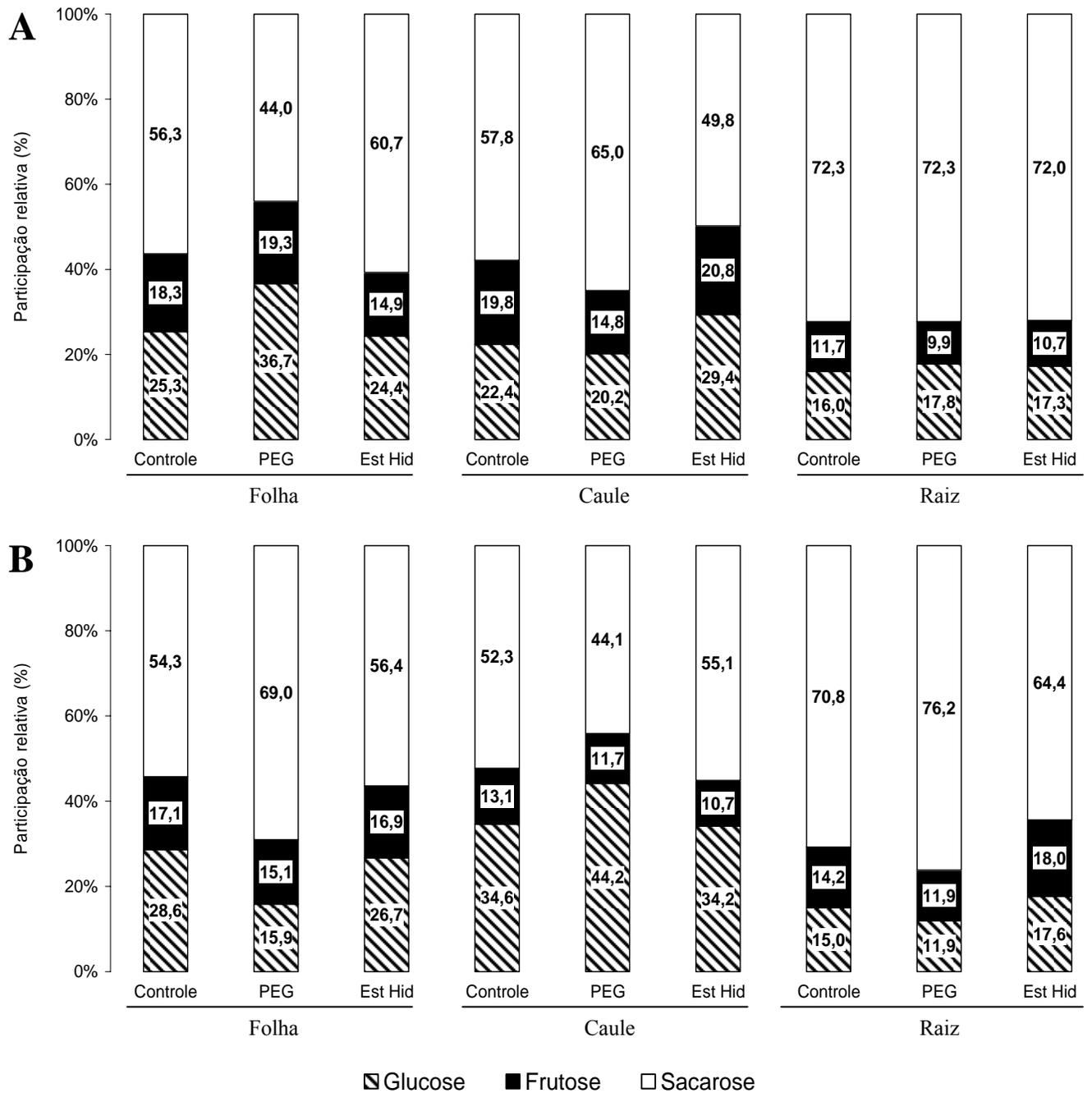


Figura 16 - Participação relativa (%) de glucose, frutose e sacarose no total de carboidratos solúveis em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja 'Valência' enxertada sobre limão 'Cravo' (A) e citrumelo 'Swingle' (B), conduzidas sob diferentes métodos de indução de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fítilho da enxertia. São Paulo, 2007

2.2.2 Experimento envolvendo exclusivamente interrupção da irrigação como método de indução de deficiência hídrica

Ciclos de irrigação, variáveis climáticas e curva de retenção de água no substrato

Da retirada de fitilho da enxertia até o término do segundo fluxo de crescimento do enxerto, em um intervalo de 134 dias de condução, foram realizadas 114 irrigações nas plantas mantidas sob capacidade de container, totalizando-se 40 L planta⁻¹. Neste mesmo período, foram realizadas 26 irrigações nos tratamentos submetidos a interrupção da irrigação, até o potencial da água no substrato atingir -15kPa, perfazendo um turno de rega médio de 5 dias. Com relação à interrupção da irrigação até -25 kPa, estes índices corresponderam a 11 irrigações e turno de rega médio de 10 dias. Estes turnos variaram conforme condições climáticas no período (Figuras 17 a 20). O volume aplicado de água variou conforme a necessidade de se restaurar a capacidade de container do substrato, sendo verificado no ciclo de produção um volume acumulado de 16 e 7 L planta⁻¹, respectivamente para manejo por interrupção da irrigação até -15 e -25kPa. O volume de água necessário à formação de porta-enxertos de limão ‘Cravo’ aptos à enxertia, em sacolas de 5L contendo casca de pinus, foi de 12L, após 90 dias de cultivo (MOURÃO FILHO et al., 2007). Não se verificaram diferenças consistentes entre turnos de rega dos porta-enxertos, embora plantas sobre limão ‘Cravo’ tenham recebido três irrigações a mais no mesmo período.

As temperaturas máxima e média foram aproximadamente de 5 a 8°C superiores no interior da estufa, em relação ao ambiente (Figura 17). Embora a temperatura média esteja dentro de uma faixa adequada para a cultura dos citros, observa-se que as temperaturas mínimas durante o primeiro mês após a enxertia foram baixas. Após este período inicial, as temperaturas foram crescentes até alcançar valores elevados, típicos do verão, ao final do experimento, o que favoreceu o crescimento vegetativo das plantas. A umidade relativa foi inferior dentro da estufa, mas acompanhou a variação da umidade externa (Figura 18). Embora esses valores tenham sido elevados durante o outono/inverno e, posteriormente, durante período de chuvas do final do ano, ao longo dos meses de agosto, setembro e início outubro houve seca prolongada no local da estufa, refletindo em queda acentuada da umidade do ar. Neste período foram conduzidas as avaliações referentes ao primeiro fluxo de crescimento das mudas.

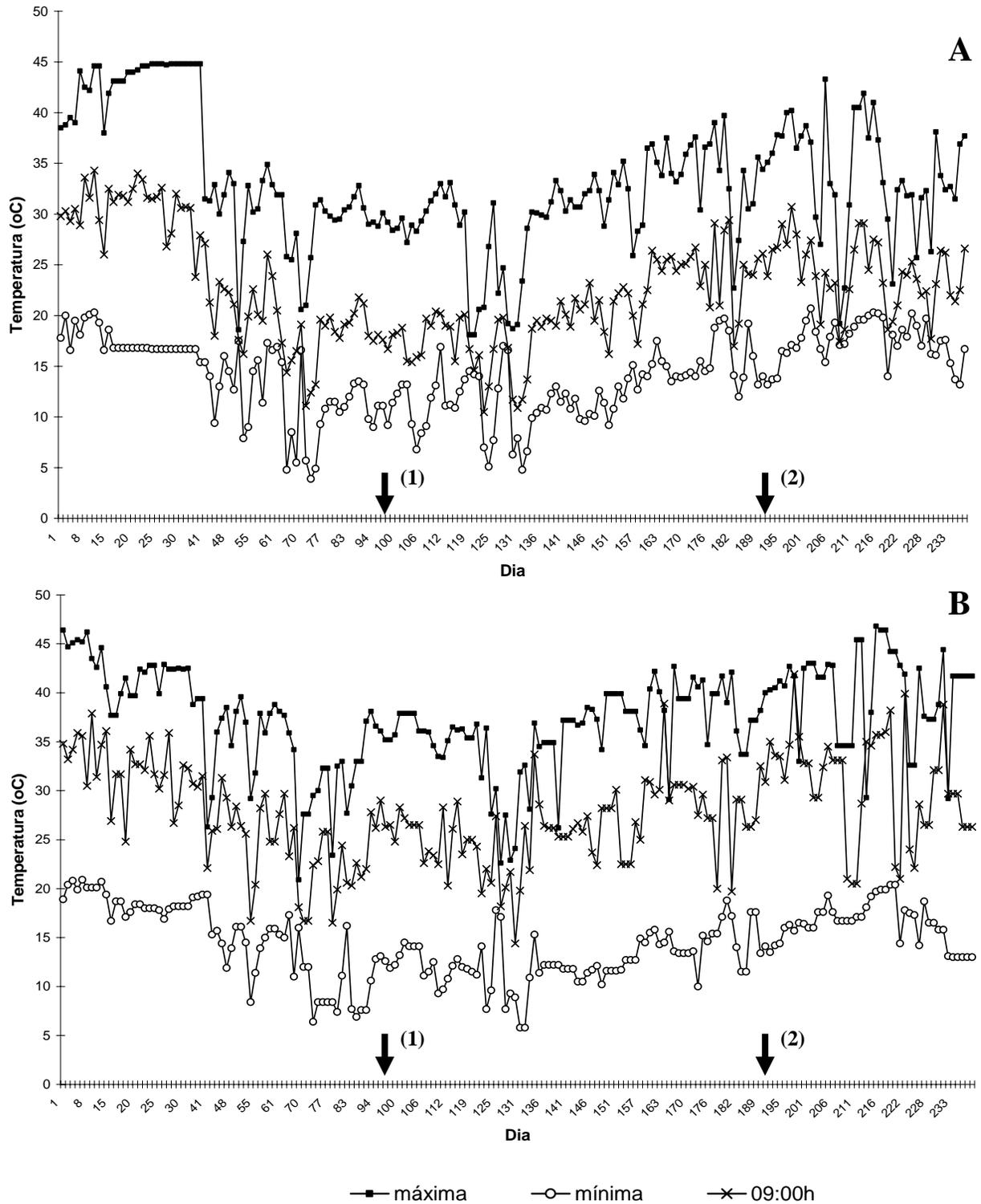


Figura 17 - Variação diária da temperatura máxima, mínima e às 09:00h na localidade do viveiro de mudas (A) e no interior da estufa (B) em que foi instalado o experimento, desde o transplante dos porta-enxertos até 40 dias após início do segundo fluxo de crescimento de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica. As setas indicam a enxertia (1) e o término do primeiro fluxo de crescimento (2). Araras, 2007

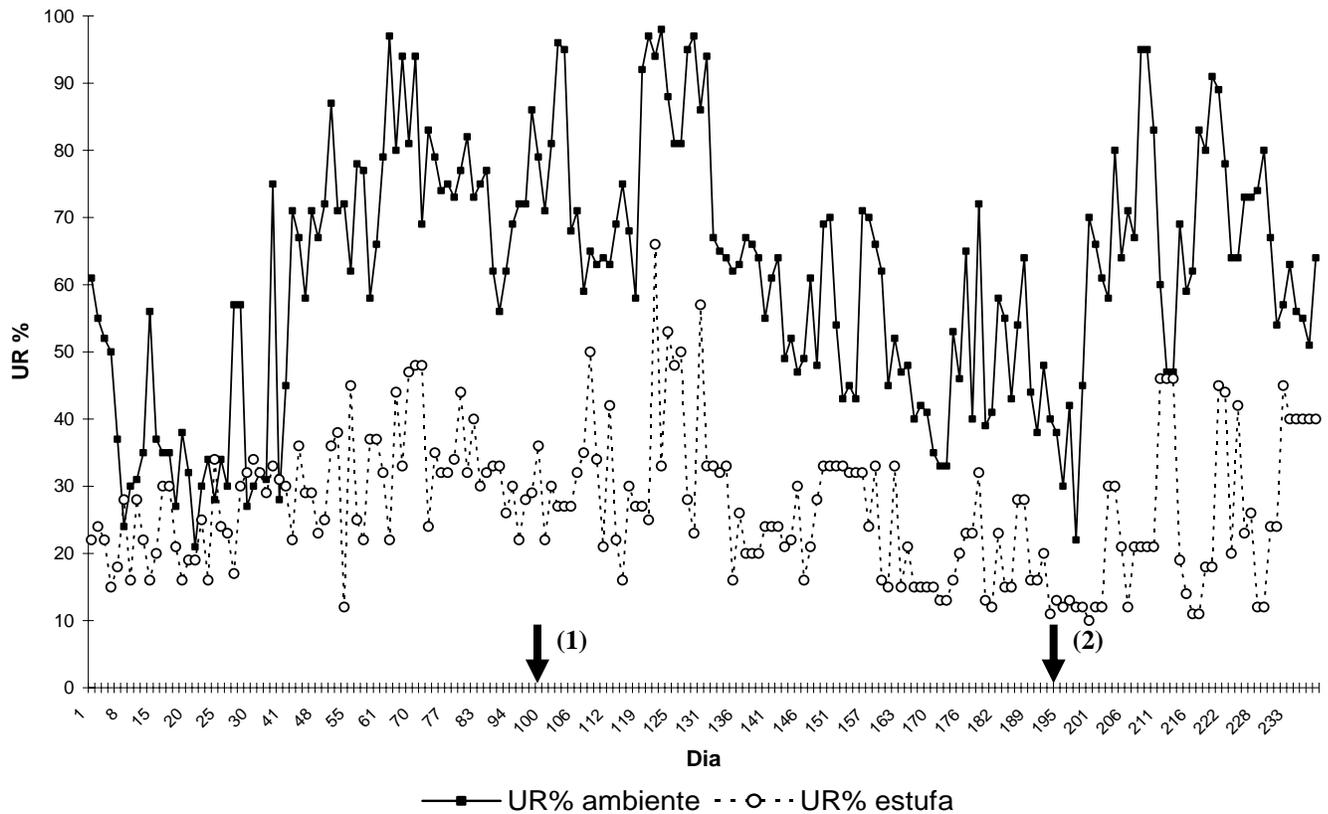


Figura 18 - Variação diária da umidade relativa do ar na localidade do viveiro de mudas (A) e no interior da estufa (B) em que foi instalado o experimento, desde o transplante dos porta-enxertos até 40 dias após início do segundo fluxo de crescimento de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica. As setas indicam a enxertia (1) e o término do primeiro fluxo de crescimento (2). Araras, 2007

A massa das sacolas foi similar entre os dois porta-enxertos, por volta de 2,5 kg para plantas sob irrigação diária, e com leve superioridade para plantas sobre o limão ‘Cravo’ (Figura 19). Esses porta-enxertos estavam um pouco mais desenvolvidos no momento da enxertia desse segundo experimento. Estimada pela massa das sacolas, a umidade inicial foi similar entre os tratamentos, mas, após cerca de 10 dias do início da interrupção da irrigação, a massa das sacolas já apresentava redução acentuada. A amplitude de diferença de massa entre sacolas bem irrigadas e aquelas submetidas ao estresse mais intenso chegou a uma média de 600 g, sendo que durante o período de menor umidade relativa (Figura 18), ocorreu um aumento nesta diferença.

Mesmo após a irrigação, a umidade não chegou ao nível de capacidade de container (Figura 19), provavelmente devido à baixa higroscopicidade do substrato de casca de pinus (RAVIV; LIETH, 2008), e a conseqüente dificuldade em restauração de potencial hídrico a partir de -25 kPa. Por outro lado, a massa média de sacolas mantidas em capacidade de container e a massa média de sacolas submetidas a ciclos de irrigação até -15 kPa foram similares após a restauração da capacidade de container, observando-se uma redução contínua de massa a cada cinco dias, em plantas submetidas à deficiência hídrica, o que corresponde ao turno de rega neste manejo.

Interromper a irrigação em diferentes fases de crescimento da muda implicou em clara variação da massa das sacolas em cada período, de modo de que a maior diferença entre as massas e, conseqüentemente, um maior efeito esperado de deficiência hídrica, coincidiu com o final do crescimento tanto do primeiro como do segundo fluxo vegetativo do enxerto (Figura 20). Nestes momentos, as plantas apresentavam tamanho máximo, e, conseqüentemente, maior evapotranspiração esperada. Plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram maior amplitude média na redução da massa das sacolas, refletindo a maior transpiração sobre esse porta-enxerto e acarretando em aumento de 10% na freqüência de irrigação no mesmo período.

O emprego de irrigação deficitária em produção de mudas em containeres pode acarretar em economia de fatores de produção sem prejuízo ao crescimento de espécies lenhosas (BEESON, 2007). Segundo o autor, este manejo pode ser praticado pela extensão do turno de rega e aplicação de volume maior de água, no caso de containeres completamente colonizados pelo sistema radicular, ou aplicação freqüente de frações da evapotranspiração diária, no caso de containeres contendo plantas recém-transplantadas. Contudo, para que esse manejo seja factível, a determinação da fração efetiva de água disponível no substrato deve ser precisa, sendo a gravimetria ferramenta adequada para esse propósito.

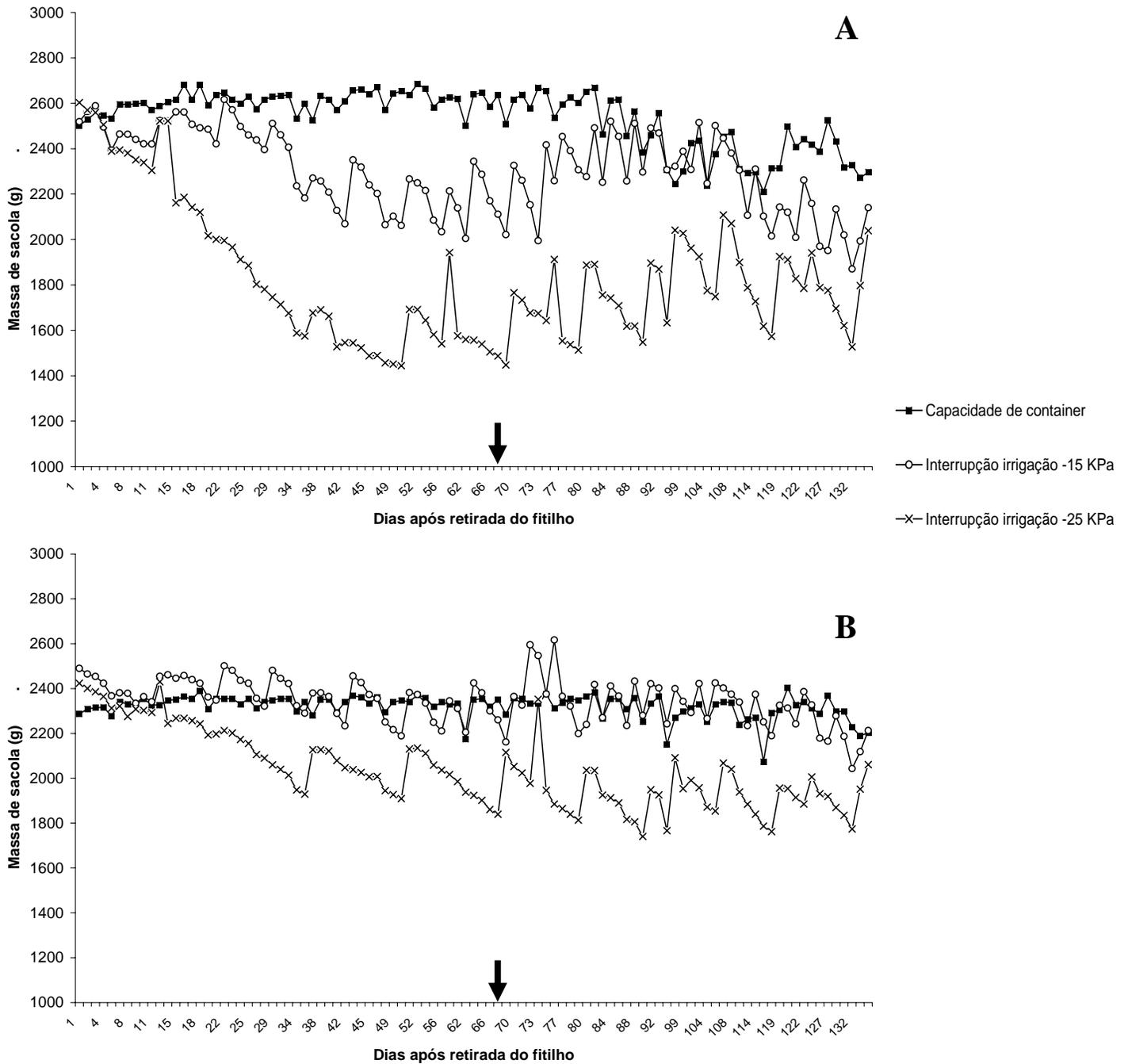


Figura 19 - Variação diária de massa de sacolas contendo mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' (A) e citrumelo 'Swingle' (B), e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica durante a fase 3 (primeiro + segundo fluxos de crescimento), até 135 dias após a retirada do fitilho de enxertia (n=3). A seta indica o início do segundo fluxo de crescimento das mudas. Araras, 2007

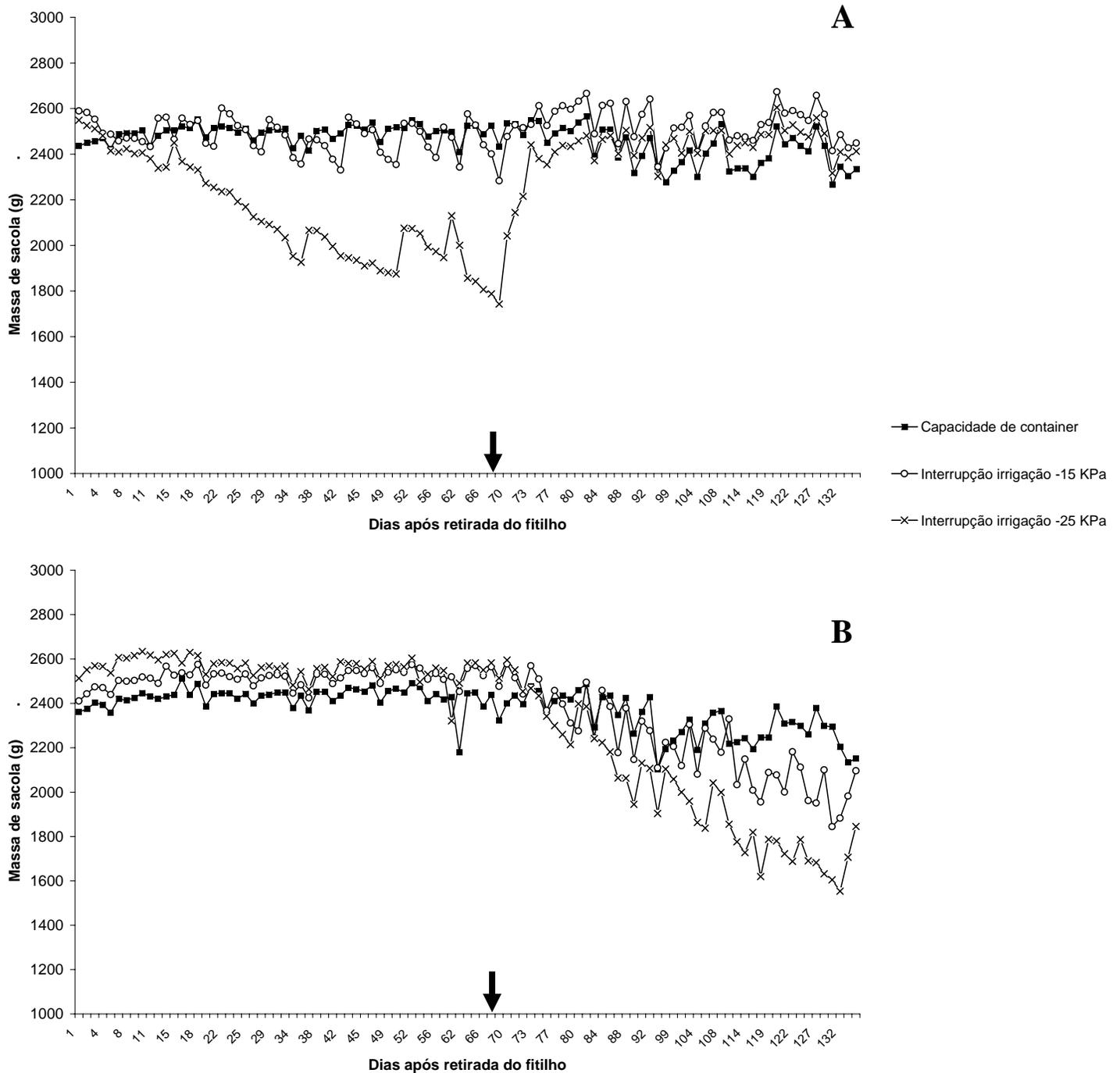


Figura 20 - Variação diária de massa de sacolas contendo mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, durante o primeiro fluxo de crescimento do enxerto, ou seja, a Fase 1 (A), ou durante o segundo fluxo de crescimento do enxerto, ou seja, a Fase 2 (B), até 135 dias após a retirada do fitilho de enxertia (n=6). A seta indica o início do segundo fluxo de crescimento das mudas. Araras, 2007

Ao final do experimento, 150 dias após a retirada do fitilho de enxertia, o teor de água no substrato foi de cerca de 58% em plantas mantidas sob irrigação diária, superando a umidade em substrato referente a plantas sob interrupção da irrigação até -15 kPa (Tabela 24). O menor teor de água foi observado em substrato com interrupção da irrigação a -25 kPa (cerca de 23%). Pela curva de retenção de água no substrato a base de casca de pinus, estas umidades corresponderiam aproximadamente a potenciais hídricos semelhantes ao estabelecido no experimento pelo sensor de tensiometria utilizado (Figura 21). O teor de água na capacidade de container é bastante inferior ao teor em condições de saturação, o que indica boa aeração do substrato naquela condição. Substratos a base de casca de pinus ou fibra de coco apresentam elevada retenção de água sob saturação. Contudo, à medida que o potencial da água no substrato se reduz, a umidade relativa na casca de pinus é diminuída de forma mais acentuada, e o substrato absorve menor quantidade de água. Desta forma, o manejo da irrigação neste substrato, no que tange a turno de rega e determinação de lâmina de irrigação, apresenta maiores dificuldades e necessidade de precisão, havendo menor disponibilidade de água às plantas cítricas (MOURÃO FILHO et al., 2007).

Tabela 24 - Teor de água em substrato de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 150 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Teor de água no substrato (%)		
	Limão 'Cravo'	Porta-enxerto Citrumelo 'Swingle'	Média
Capacidade de container	57,0a	58,8a	57,9A
Interrupção irrigação -15 kPa	35,0b	49,6a	42,3B
Interrupção irrigação -25 kPa	23,4a	23,3a	23,3C
<i>Média</i>	38,5b	43,9a	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$) ($n = 10$).

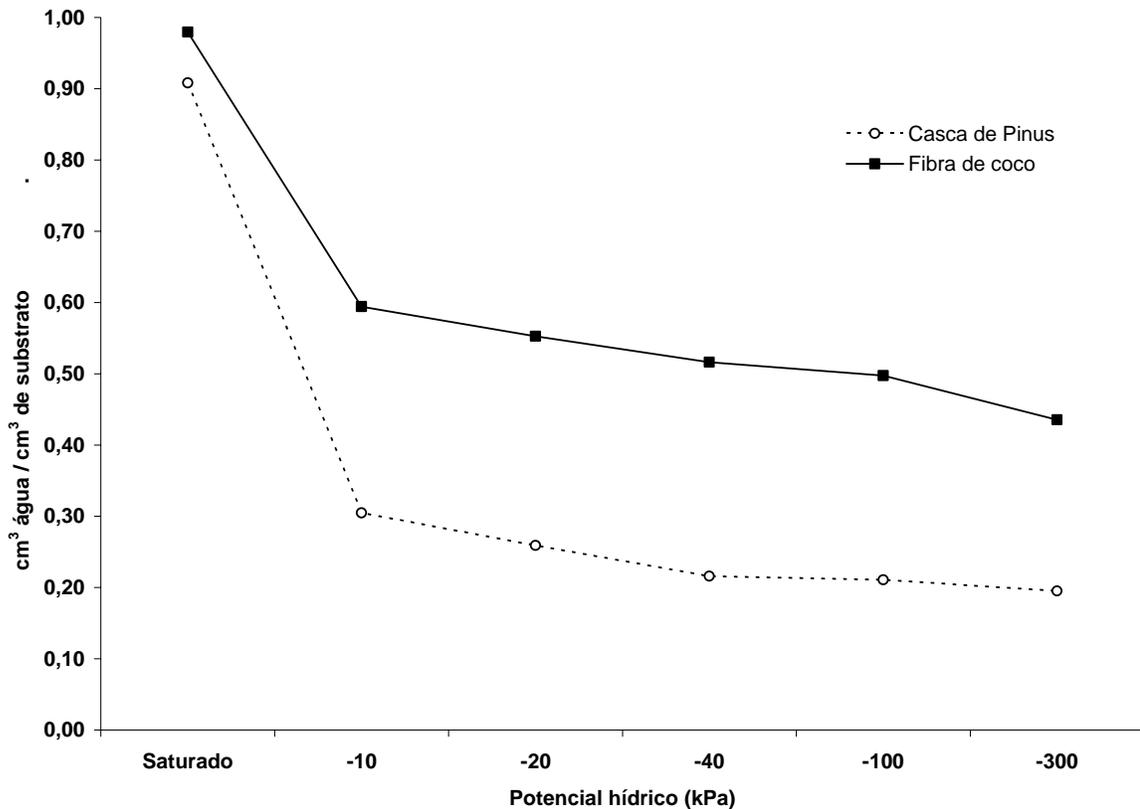


Figura 21 - Curva de retenção de água em substratos a base de casca de pinus e fibra de coco, utilizados para produção de mudas de citros. Araras, 2006

O pH do substrato elevou-se de 75 para 150 dias após a retirada do fitilho, e se manteve em faixa adequada para a cultura dos citros (Figura 22). A eletrocondutividade da solução do substrato, por outro lado, diminuiu do final do primeiro fluxo de crescimento para o final do segundo fluxo, 150 dias após início do experimento (Figura 23). A diminuição de EC decorre de lixiviação de nutrientes e de sua absorção pelas plantas. Como os fertilizantes empregados na adubação são de natureza ácida, sua redução no substrato pode explicar o aumento do pH ao longo do tempo. A concentração de nitratos seguiu esta tendência (Figura 24), e pode explicar boa parte da redução na eletrocondutividade, já que a adubação só foi aplicada antes da enxertia. Ao final do experimento, observaram-se sintomas iniciais de deficiência de N.

Não houve diferença consistente entre a eletrocondutividade e concentração de nitratos no substrato entre plantas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’. As espécies cítricas são consideradas sensíveis à salinidade (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996), ocorrendo

prejuízo a partir de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$. Portanto, os níveis de EC observados neste experimento são adequados, mesmo naqueles em que a interrupção da irrigação pode ter contribuído para aumento momentâneo da concentração de nutrientes na solução do substrato. Os valores iniciais em substrato submetido a interrupção da irrigação a -25 kPa são superiores àqueles verificados sob irrigação diária. Contudo, ao final das avaliações, os valores se equivaleram. Inicialmente, substratos submetidos à deficiência hídrica periódica conservaram maiores quantidades de fertilizantes, especialmente por menor lixiviação do container. Porém, as irrigações individuais para reposição de umidade no substrato consistiram em lâmina d'água superior à aplicada diariamente ($600 \text{ mL} \times 300 \text{ mL}$), o que também pode ter resultado em lixiviação de nutrientes em longo prazo (MILNER, 2002).

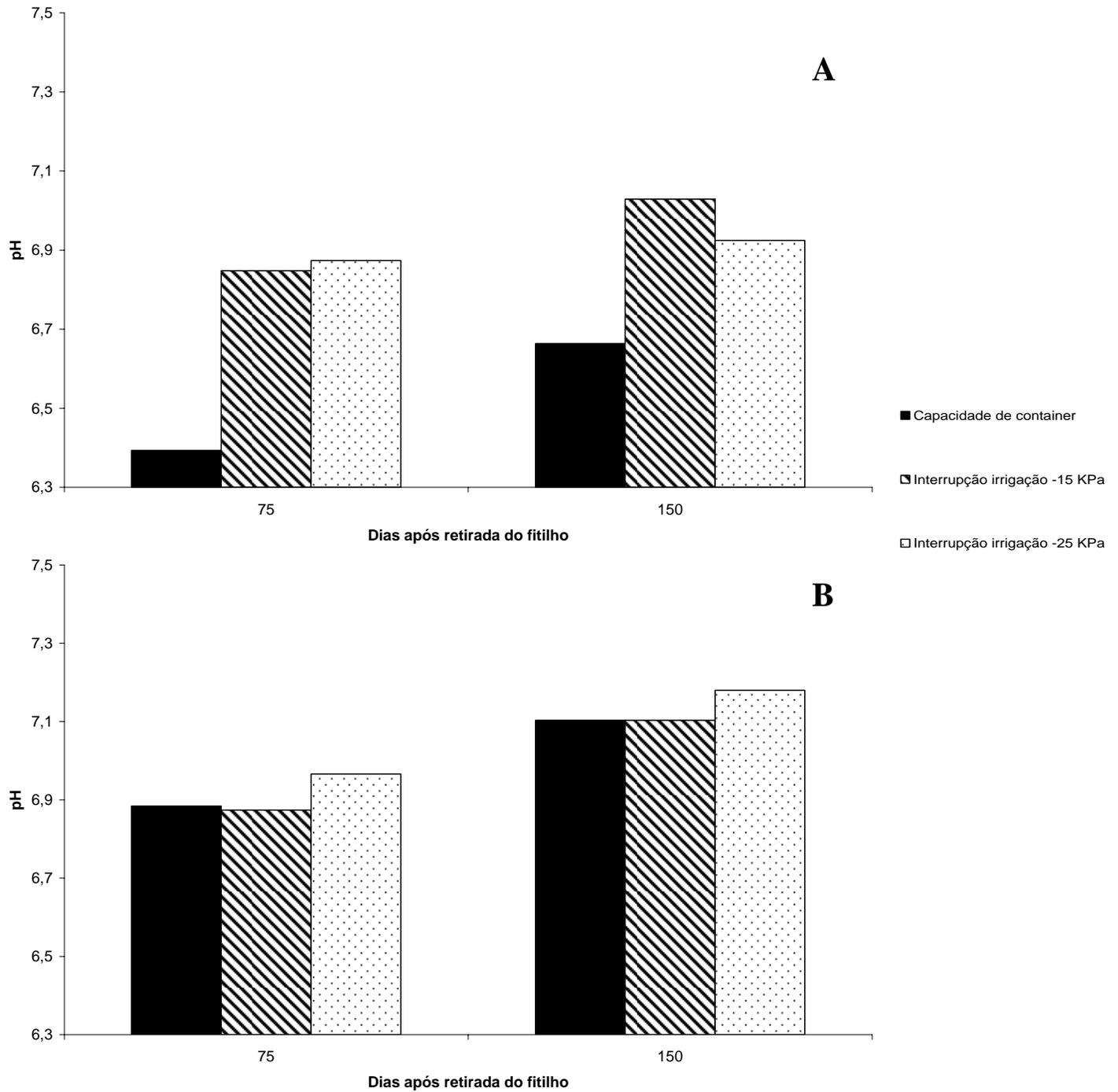


Figura 22 - Variação do pH em drenado obtido a partir do substrato de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' (A) e citrumelo 'Swingle' (B) e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 75 e 150 dias após retirada do fitilho (n=3). Araras, 2007

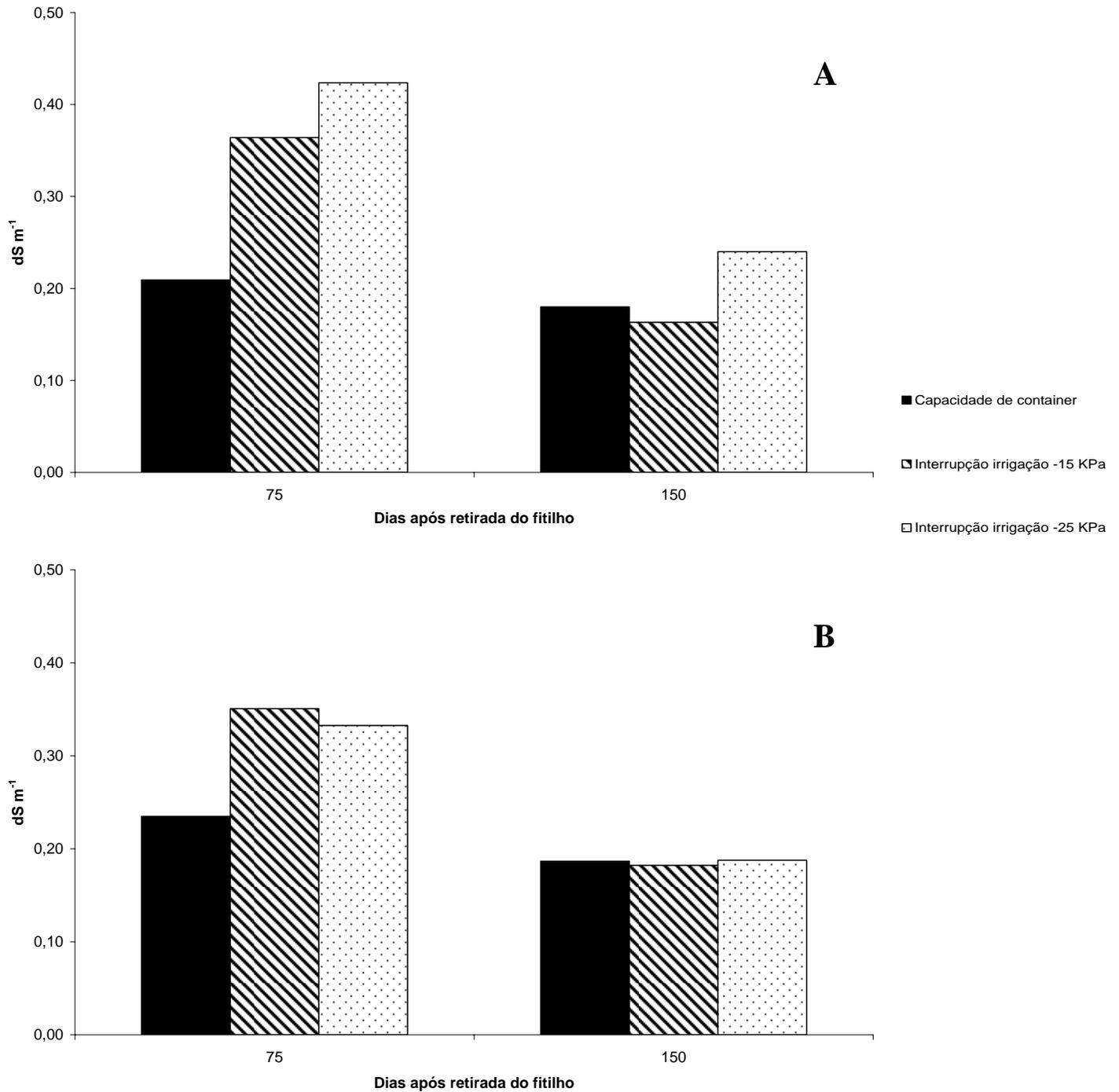


Figura 23 - Variação da eletrocondutividade (dS m^{-1}) em drenado obtido a partir do substrato de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' (A) e citrumelo 'Swingle' (B) e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 75 e 150 dias após retirada do fitilho ($n=3$). Araras, 2007

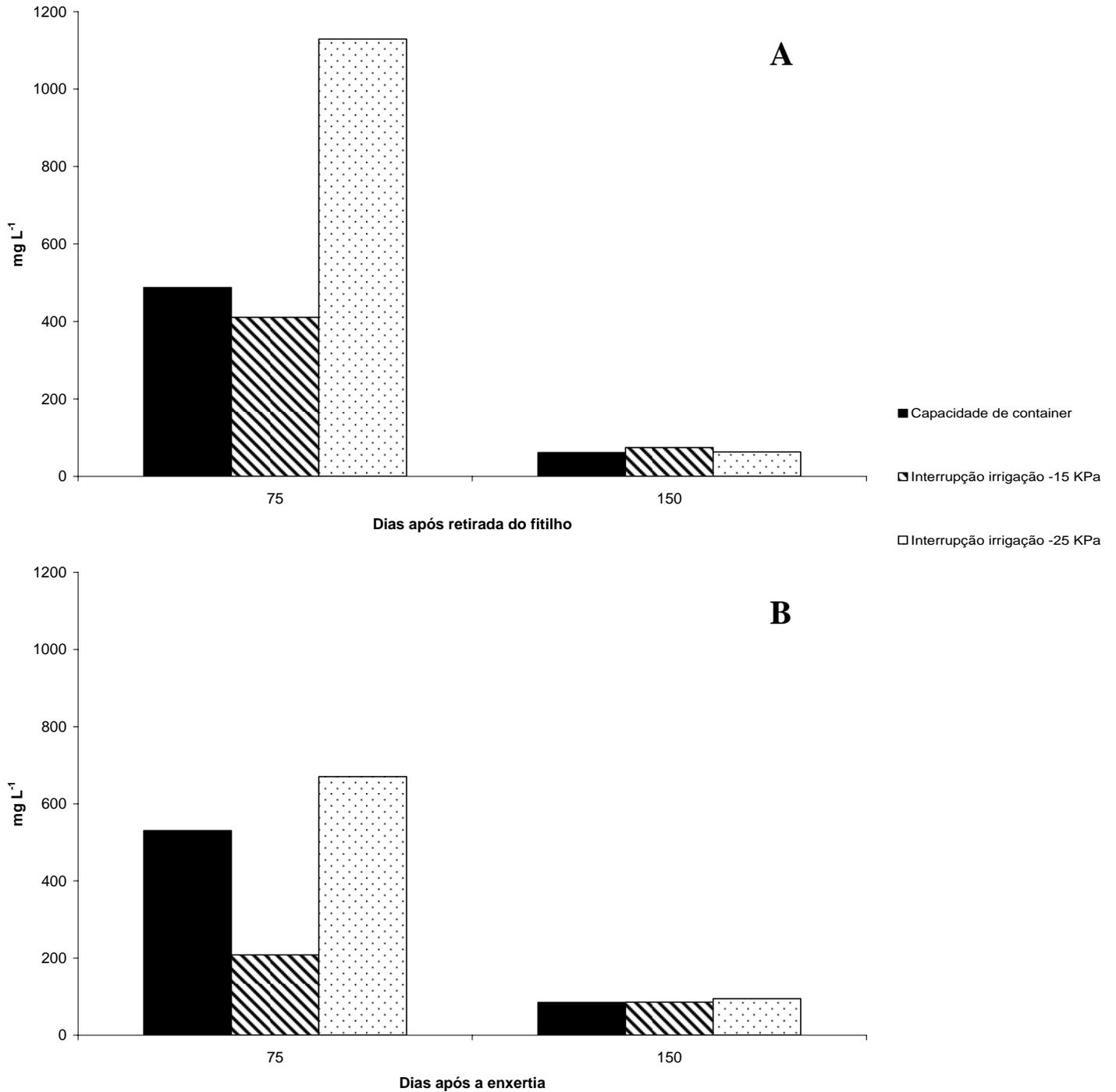


Figura 24 - Variação da concentração de nitratos (mg L^{-1}), em drenado obtido a partir de substrato de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' (A) e citrumelo 'Swingle' (B) e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 75 e 150 dias após retirada do fitilho ($n=3$). Araras, 2007

Percentagem de brotação da enxertia

Não houve influência da deficiência hídrica sobre a brotação do enxerto, 15 dias após a retirada do fitilho (dados não apresentados). Durante o processo de enxertia, não se submeteram as plantas à deficiência hídrica, para não acarretar prejuízo à brotação inicial dos enxertos. Assim, plantas sobre os dois porta-enxertos apresentaram brotação do enxerto superior a 96%. Não foram observadas borbulhas mortas em nenhum dos tratamentos.

Altura e número de folhas

Plantas sobre limão ‘Cravo’ registraram maior altura de copa do que aquelas sobre citrumelo ‘Swingle’, tanto durante o primeiro fluxo de crescimento como durante o segundo fluxo (Tabela 25). Conseqüentemente, um menor número de folhas da copa foi registrado em plantas sobre citrumelo ‘Swingle’, já após o primeiro fluxo. A altura de mudas de laranja ‘Valência’ foi, pelo menos, 25% superior sobre limão ‘Cravo’.

Em todas as fases em que se submeteram plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ à maior intensidade de deficiência hídrica, aos 60 ou 120 dias de avaliação, houve redução da altura da muda, embora o número de folhas só tenha sido reduzido aos 120 dias após a retirada do fitilho (Tabela 25). Por outro lado, plantas enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’ apresentaram menor altura e número de folhas exclusivamente após término do segundo fluxo de crescimento, e em plantas submetidas ao estresse mais intenso por todo o ciclo produtivo ou em sua segunda metade. A interrupção da irrigação até -15 kPa não afetou o crescimento em altura. Em ambos os porta-enxertos, plantas submetidas a estresse exclusivamente durante a Fase 1 apresentaram altura e número de folhas equivalentes aos do controle, 120 dias após a retirada do fitilho, indicando que naquelas plantas houve um segundo fluxo de crescimento satisfatório logo que a irrigação foi restaurada.

Diâmetro de caules de porta-enxerto e de copa

Os porta-enxertos utilizados foram selecionados por altura e diâmetro antes da enxertia, de modo que o lote estava bastante uniforme no início do experimento. Entretanto, diâmetro de limão ‘Cravo’ 5cm abaixo da enxertia foi superior ao de citrumelo ‘Swingle’, tanto 60 quanto 120 dias após a retirada do fitilho (Tabela 26). Limão ‘Cravo’ também induziu maior diâmetro de caule ao enxerto ao longo de todo o experimento. Embora a razão entre diâmetros de caule da

copa e do porta-enxerto não influencie necessariamente o potencial produtivo de uma combinação, razões mais próximas de 1 tendem a indicar um melhor grau de afinidade entre as variedades (HARTMANN et al., 2002).

Apenas a interrupção de irrigação a -25 kPa reduziu o diâmetro dos porta-enxertos, sendo que plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ só foram afetadas 120 dias após retirada de fitilho. (Tabela 26). Quanto mais prolongado o período de submissão aos ciclos de suspensão de rega, maior a redução em diâmetro de caule ao final das avaliações. Plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram o mesmo comportamento quanto à influência da deficiência hídrica, seja para diâmetro de caule do porta-enxerto ou do enxerto. Porém, o caule do enxerto parece ser mais sensível à deficiência hídrica sobre citrumelo ‘Swingle’, já que seu diâmetro foi reduzido nas duas intensidades de estresse já aos 60 dias após a retirada do fitilho.

Altura e diâmetro de caule são considerados dois parâmetros muito úteis e de fácil medição para avaliação da qualidade de mudas em geral (CARNEIRO, 1995). De fato, essas variáveis se correlacionaram bem com as intensidades de deficiência hídrica estudadas, e a variação do diâmetro de caule chega a ser recomendada como indicador de *status* hídrico de citros dada a sua sensibilidade à variação de umidade no substrato (ORTUÑO et al., 2004).

Logo ao final do 1º fluxo de crescimento, a diferença de vigor entre laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ era evidente (Figura 25 A). Contudo, desde o início da brotação, e mesmo após o término de um fluxo de crescimento, sintomas de murcha foram observados em plantas sobre ambos os porta-enxertos, em especial sobre limão ‘Cravo’, nos períodos finais de indução de estresse por suspensão da irrigação a -25 kPa (Figura 25 B e C). Após o final das avaliações previstas no experimento, restaurou-se a irrigação diária nas plantas remanescentes, e, ao redor de 15 dias após, verificou-se florescimento generalizado, o que sugere que ciclos contínuos de deficiência hídrica a um potencial hídrico de -25 kPa no substrato, durante pelo menos quatro meses, consiste em um método alternativo e simples para indução de florescimento em plantas cítricas jovens em vasos (Figura 25 D).

Tabela 25 - Altura e número médio de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
	Altura 60 DARF							
	----- cm -----							
Capacidade de container	44,6	48,3	42,0	45,0A	30,1	31,8	30,1	30,7A
Interrupção irrigação -15 kPa	38,2	48,1	45,0	43,8AB	31,6	27,8	27,1	28,8A
Interrupção irrigação -25 kPa	34,1	50,3	33,8	39,4B	30,0	26,4	30,2	28,9A
Média	39,0b	48,9a	40,3b		30,5a	28,7a	29,1a	
Média Porta-enxerto		42,7a				29,4b		
	Altura 120 DARF							
	----- cm -----							
Capacidade de container	71,7	67,3	59,2	66,1A	50,6	55,0	54,0	53,2A
Interrupção irrigação -15 kPa	70,8	53,2	60,6	61,5AB	57,9	50,9	48,2	52,3A
Interrupção irrigação -25 kPa	68,0	45,9	54,2	56,0B	52,1	45,7	35,1	44,3B
Média	70,2a	55,5b	58,0 b		53,5a	50,5ab	45,7b	
Média Porta-enxerto		61,2a				49,9b		
	Número de folhas 60 DARF							
	----- unidade -----							
Capacidade de container	21	22	20	21A	14	18	17	16A
Interrupção irrigação -15 kPa	20	22	21	21A	15	15	15	15A
Interrupção irrigação -25 kPa	19	23	19	20A	17	15	17	16A
Média	20a	22a	20a		15a	16a	16a	
Média Porta-enxerto		20,6a				15,6b		
	Número de folhas 120 DARF							
	----- unidade -----							
Capacidade de container	37	34	31	34A	26A	30A	28A	28A
Interrupção irrigação -15 kPa	36	28	30	31AB	29A	30A	24B	27A
Interrupção irrigação -25 kPa	34	25	31	30B	28A	27B	23B	26A
Média	35a	29b	31b		28a	29a	25b	
Média Porta-enxerto		31,6a				27,1b		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 26 - Diâmetro de caule de porta-enxerto e diâmetro de caule de enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
Diâmetro de caule de porta-enxerto 60 DARF								
----- mm -----								
Capacidade de container	9,8A	9,9A	9,6A	9,7A	8,9	9,2	9,0	9,1A
Interrupção irrigação -15 kPa	9,0AB	10,1A	9,2AB	9,4AB	9,0	9,0	8,4	8,8A
Interrupção irrigação -25 kPa	8,0B	10,2A	8,2B	8,8B	8,8	9,2	8,9	9,0A
Média	8,9b	10,1a	9,0b		8,9a	9,1a	8,8a	
Média Porta-enxerto	9,3a				8,9b			
Diâmetro de caule de porta-enxerto 120 DARF								
----- mm -----								
Capacidade de container	11,9	12,6	12,1	12,2A	10,2	10,6	9,9	10,2A
Interrupção irrigação -15 kPa	12,4	11,5	11,7	11,9A	10,9	10,8	10,1	10,6A
Interrupção irrigação -25 kPa	10,9	10,1	9,1	10,0B	10,2	9,6	9,3	9,7B
Média	11,7a	11,4a	11,0b		10,4a	10,3a	9,8b	
Média Porta-enxerto	11,3a				10,1b			
Diâmetro de caule de enxerto 60 DARF								
----- mm -----								
Capacidade de container	6,5	6,8	5,9	6,4A	4,6	5,3	4,8	4,9A
Interrupção irrigação -15 kPa	6,0	6,7	6,0	6,2AB	4,7	4,7	4,3	4,5B
Interrupção irrigação -25 kPa	4,9	6,6	4,9	5,5B	4,5	4,6	4,5	4,5B
Média	5,8b	6,7a	5,6b		4,6b	4,8a	4,5b	
Média Porta-enxerto	6,0a				4,6b			
Diâmetro de caule de enxerto 120 DARF								
----- mm -----								
Capacidade de container	8,7	8,6	7,6	8,3A	5,1	5,5	5,4	5,3AB
Interrupção irrigação -15 kPa	8,9	7,9	8,2	8,4A	5,8	5,6	5,2	5,5A
Interrupção irrigação -25 kPa	7,5	7,1	6,4	7,0B	5,7	5,3	4,1	5,1B
Média	8,4a	7,9ab	7,4b		5,5a	5,5a	4,9b	
Média Porta-enxerto	7,8a				5,3b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.



Figura 25 - (A) mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ (dir) e citrumelo ‘Swingle’ (esq), após primeiro fluxo de desenvolvimento do enxerto, 72 dias após retirada de fitilho de enxertia; (B) as setas indicam mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’, após primeiro fluxo de desenvolvimento do enxerto, 72 dias após retirada de fitilho de enxertia, e demonstrando sintomas de murcha por deficiência hídrica; (C) sintomas iniciais de murcha em brotação da enxertia em função de interrupção da irrigação até potencial hídrico do substrato atingir -25kPa ; (D) florescimento observado após finalização das avaliações e restauração da irrigação diária em plantas remanescentes, 180 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007/2008

Comprimento de internódio

Não ocorreram diferenças no comprimento do internódio do caule do enxerto em função do porta-enxerto (Tabela 27). Contudo, enquanto o comprimento de internódio de laranja ‘Valência’ não foi alterado pela deficiência hídrica quando enxertada sobre limão ‘Cravo’, houve sua redução em plantas sobre citrumelo ‘Swingle’, 120 dias após a retirada do fitilho, durante a Fase 3 (ciclo completo). Este dado condiz com o fato de que o número de folhas não foi diminuído em função de deficiência hídrica em mudas sobre citrumelo ‘Swingle’ (Tabela 25), o que sugere um mecanismo de resposta ao estresse diferente do limão ‘Cravo’.

Abscisão foliar e número de plantas apresentando dois fluxos de crescimento

Durante o primeiro fluxo de crescimento do enxerto, não ocorreu abscisão foliar. Porém, a interrupção da irrigação a -25 kPa resultou em abscisão foliar em plantas durante a Fase 2, ou seja, em plantas que não sofreram estresse durante seu 1º fluxo de crescimento (Tabela 27). Como tais plantas apresentavam maior área foliar no momento de início do estresse, a abscisão pode ter funcionado como mecanismo para redução mais rápida da transpiração. A abscisão foliar foi o dobro em plantas de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’, em relação às sobre citrumelo ‘Swingle’. Este é um mecanismo próprio para redução de perdas de água em espécies cítricas adaptadas a regiões mais áridas, embora a taxa de abscisão possa superar 10% após um único ciclo de 20 dias de seca (ARBONA et al., 2005a). Mais de 90% das plantas enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’ brotaram após o primeiro fluxo de crescimento, mesmo sob deficiência hídrica (Tabela 27). Entretanto, taxas similares de brotação em plantas sobre limão ‘Cravo’ só foram observadas em plantas sem deficiência hídrica (Fase 1 ou plantas controle). Em plantas sobre este porta-enxerto submetidas a estresse a partir da Fase 2, em qualquer nível, a taxa de brotação teve redução ao redor de 30 % (Tabela 27). Talvez este seja outro mecanismo de aclimatação induzido pelo limão ‘Cravo’ diante da menor disponibilidade de recurso hídrico, evitando a exposição de brotos tenros a uma situação de deficiência hídrica futura.

Tabela 27 - Comprimento de internódio de enxerto e abscisão foliar de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
Comprimento de internódio de enxerto 60 DARF								
----- cm -----								
Capacidade de container	2,1	2,2	2,1	2,1A	2,6a	1,8b	1,8b	2,0A
Interrupção irrigação -15 kPa	1,9	2,2	2,3	2,1A	2,5a	1,8b	1,9b	2,1A
Interrupção irrigação -25 kPa	1,8	2,2	1,8	1,9A	1,8a	1,8a	1,8a	1,8A
Média	1,9a	2,2a	2,0a		2,3a	1,8b	1,8b	
Média Porta-enxerto	2,0a				1,9a			
Comprimento de internódio de enxerto 120 DARF								
----- cm -----								
Capacidade de container	2,0	2,0	1,7	1,9A	1,9a	1,9a	1,9a	1,9A
Interrupção irrigação -15 kPa	2,0	1,9	2,1	2,0A	2,0a	1,7a	2,0a	1,9A
Interrupção irrigação -25 kPa	2,0	1,9	1,8	1,9A	1,8a	1,7a	1,4b	1,6B
Média	2,0a	1,9a	1,9a		1,9a	1,8a	1,8a	
Média Porta-enxerto	1,9a				1,8a			
Abscisão foliar 120 DARF								
----- % -----								
Capacidade de container	0	0	0	0B	0	0	0	0B
Interrupção irrigação -15 kPa	0	0	0	0B	0	0	0	0B
Interrupção irrigação -25 kPa	0	22	0	7,3A	0	11	0	3,7A
Média	0b	7,3a	0b		0b	3,7a	0b	
Média Porta-enxerto	2,4a				1,2b			
Plantas apresentando 2 fluxos de crescimento 120 DARF								
----- % -----								
Capacidade de container	94Aa	72Ab	72Bb	80A	83	100	94	93
Interrupção irrigação -15 kPa	78Ba	56Bb	67Bab	67A	94	94	83	91
Interrupção irrigação -25 kPa	94Aa	56Bb	89Aa	80A	94	89	94	93
Média	89a	61c	76b		91	94	91	
Média Porta-enxerto	75,3b				91,9a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Massa de matérias fresca e seca

Plantas sobre limão ‘Cravo’ registraram maiores massas de matérias fresca e seca de folhas, caule de enxerto e sistema radicular nos dois períodos avaliados, enquanto aquelas sobre citrumelo ‘Swingle’ apresentaram maior massa de matérias fresca e seca de caule de porta-enxerto somente durante o 1º fluxo de crescimento (Tabelas 28 a 31). Considerando-se a massa de matéria seca total das plantas, limão ‘Cravo’ resultou em massa 30% superior, 60 ou 120 dias após a retirada do fitilho.

De maneira geral, o acúmulo de matéria fresca ou seca de quaisquer órgãos foi reduzido pela maior intensidade de deficiência hídrica em 20 a 30%, durante os dois fluxos de crescimento, em plantas sobre limão ‘Cravo’. Folhas e caule foram mais sensíveis aos efeitos da interrupção de irrigação, pois a partir de -15 kPa já apresentaram redução de massa, 120 dias após a retirada do fitilho. O efeito da deficiência hídrica foi mais deletério quando aplicado na fase 3. Já plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ só foram afetadas pelo maior nível de estresse, e, em geral, somente ao final do experimento, a exceção de matéria fresca de folhas no 1º fluxo (Tabela 28). Seu sistema radicular não foi influenciado pelos períodos de estresse (Tabela 31). Plantas de tangerina ‘Clementina de Nules’ sobre citrange ‘Carrizo’ submetidas a quatro ciclos de interrupção de irrigação por 20 dias, em vasos, apresentaram 50% de redução de massa de sistema radicular (ARBONA et al., 2005a). Por outro lado, a massa de plantas sobre o limão ‘Cravo’, mesmo quando submetidas a interrupção da irrigação a -25 kPa por 120 dias, superou a massa das plantas controle enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’ (Tabelas 28 a 31).

Estudos recentes com porta-enxertos de citrumelo ‘Swingle’ indicam que o método de indução de deficiência hídrica afeta diferentemente o crescimento vegetativo e as funções foliares fisiológicas (MELGA; DUNLOP; SYVERTSEN, 2008; KUSAKABE et al., 2008). A secagem parcial da zona radicular não reduziu acúmulo de matéria seca ou trocas gasosas em relação a porta-enxertos sob irrigação ótima, embora a concentração de ácido abscísico seja superior na deficiência hídrica. Por outro lado, irrigação deficitária regulada (100, 75 e 50% da evapotranspiração) reduz crescimento, especialmente da parte aérea, embora a taxa de assimilação de CO₂ e demais trocas gasosas sejam semelhantes entre os manejos. A secagem parcial da zona radicular acarretou em altas taxas fotossintéticas e menor depleção ao crescimento que condições de salinidade associada à elevada umidade no substrato, resultando em adequada eficiência do uso da água e desenvolvimento comparável à irrigação plena.

Tabela 28 - Massa de matérias fresca e seca de folhas de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
Massa de matéria fresca de folhas 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	32,2	40,8	31,6	34,9A	14,5	19,0	18,8	17,4A
Interrupção irrigação -15 kPa	31,3	34,0	36,4	33,9A	13,9	14,0	14,0	14,0B
Interrupção irrigação -25 kPa	17,6	39,7	14,3	23,9B	13,1	15,6	15,0	14,6B
Média	27,0b	38,2a	27,4b		13,8a	16,2a	16,0a	
Média Porta-enxerto	30,8a				15,3b			
Massa de matéria fresca de folhas 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	49,0	50,8	42,3	47,4A	28,4	28,9	26,7	28,0A
Interrupção irrigação -15 kPa	47,6	34,9	44,6	42,4B	25,8	25,8	20,0	23,8B
Interrupção irrigação -25 kPa	43,5	30,8	34,4	36,2B	26,8	24,4	18,5	23,2B
Média	46,7a	38,8b	40,4b		27,0a	26,4a	21,7b	
Média Porta-enxerto	42,0a				25,0b			
Massa de matéria seca de folhas 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	10,4	13,4	10,1	11,3A	5,8	7,0	7,1	6,6A
Interrupção irrigação -15 kPa	10,2	10,5	11,7	10,8A	5,5	5,6	5,6	5,6A
Interrupção irrigação -25 kPa	6,1	12,5	5,2	7,9B	5,3	6,6	5,9	5,9A
Média	8,9b	12,1a	9,0b		5,6a	6,4a	6,2a	
Média Porta-enxerto	10,0a				6,0b			
Massa de matéria seca de folhas 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	18,5a	19,2a	16,9a	18,2A	11,9a	12,1a	11,4a	11,8A
Interrupção irrigação -15 kPa	18,4a	13,9c	16,6b	16,3B	11,1a	11,4a	10,3a	10,9AB
Interrupção irrigação -25 kPa	16,2a	13,0b	15,1a	14,8B	11,2a	10,8a	9,3b	10,4B
Média	17,7a	15,4b	16,2b		11,4a	11,4a	10,3a	
Média Porta-enxerto	16,3a				11,0b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 29 - Massa de matérias fresca e seca de caule de enxerto de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
Massa de matéria fresca de caule de enxerto 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	13,4	15,9	12,9	14,1A	6,8	7,8	7,5	7,4A
Interrupção irrigação -15 kPa	13,7	15,0	15,7	14,8AB	6,4	6,0	6,4	6,3A
Interrupção irrigação -25 kPa	8,2	17,3	7,1	10,9B	5,8	5,7	5,7	5,8A
Média	11,8a	16,1b	11,9b		6,3a	6,5a	6,5a	
Média Porta-enxerto	16,4a				11,0b			
Massa de matéria fresca de caule de enxerto 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	37,5	36,3	29,8	34,5A	18,5a	18,3a	17,2a	18,0A
Interrupção irrigação -15 kPa	39,3	25,8	29,9	31,7A	16,9a	15,0ab	13,7ab	15,2AB
Interrupção irrigação -25 kPa	32,2	20,2	19,8	24,0B	18,0a	13,6b	10,9b	14,2B
Média	36,3a	27,4b	26,5b		17,8a	15,6ab	13,9b	
Média Porta-enxerto	30,1a				15,7b			
Massa de matéria seca de caule de enxerto 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	5,5	6,6	5,0	5,7A	3,4	3,8	3,4	3,6A
Interrupção irrigação -15 kPa	5,4	5,7	6,1	5,8A	3,4	3,2	3,4	3,3A
Interrupção irrigação -25 kPa	3,7	6,4	3,3	4,5B	3,1	3,0	3,2	3,1A
Média	4,9b	6,3a	4,8b		3,3a	3,4a	3,3a	
Média Porta-enxerto	5,3a				3,3b			
Massa de matéria seca de caule de enxerto 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	17,5	16,9	15,9	16,8A	9,5	8,9	8,5	9,0A
Interrupção irrigação -15 kPa	18,0	12,6	14,7	15,1B	8,2	8,4	7,3	8,0AB
Interrupção irrigação -25 kPa	15,0	10,1	9,9	11,6C	8,6	7,0	6,1	7,2B
Média	16,8a	13,2b	13,5b		8,8a	8,1ab	7,3b	
Média Porta-enxerto	14,5a				8,1b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 30 - Massa de matérias fresca e seca de caule de porta-enxerto de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
Massa de matéria fresca de caule de porta-enxerto 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	15,2	14,8	14,0	14,7A	14,9	16,3	15,4	15,5A
Interrupção irrigação -15 kPa	12,7	14,3	14,9	14,0A	15,0	14,6	14,9	14,8AB
Interrupção irrigação -25 kPa	10,4	14,9	10,3	11,9B	13,9	14,8	14,6	14,4B
Média	12,8b	14,7a	13,1b		14,6b	15,2a	14,9ab	
Média Porta-enxerto	13,5b				14,9a			
Massa de matéria fresca de caule de porta-enxerto 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	27,0A	27,5A	25,7A	26,8A	23,3	25,8	24,0	24,4A
Interrupção irrigação-15 kPa	27,1A	23,4B	23,6B	24,7B	25,1	21,8	22,0	23,0AB
Interrupção irrigação-25 kPa	22,9B	19,0C	15,2C	19,0C	25,2	21,3	18,2	21,6B
Média	25,7a	23,3b	21,5b		24,6a	23,0ab	21,4b	
Média Porta-enxerto	23,5a				23,0a			
Massa de matéria seca de caule de porta-enxerto 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	7,9	7,8	6,8	7,5A	8,0	8,3	7,8	8,0A
Interrupção irrigação-15 kPa	6,7	7,4	8,0	7,4A	7,6	7,7	8,1	7,8A
Interrupção irrigação-25 kPa	5,9	7,9	6,1	6,6B	7,4	8,0	8,1	7,9A
Média	6,8b	7,7a	7,0b		7,7a	8,0a	8,0a	
Média Porta-enxerto	7,2b				7,8a			
Massa de matéria seca de caule de porta-enxerto 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	15,7	15,9	13,6	15,0A	13,1	14,2	13,5	13,6A
Interrupção irrigação-15 kPa	15,5	13,8	14,1	14,5A	14,1	12,5	12,7	13,1AB
Interrupção irrigação-25 kPa	12,8	11,0	9,9	11,2B	14,1	12,5	10,9	12,5B
Média	14,6a	13,5ab	12,5b		13,8a	13,1ab	12,4b	
Média Porta-enxerto	13,6a				13,1a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 31 - Massa de matérias fresca e seca de sistema radicular de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
Massa de matéria fresca de sistema radicular 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	59,7	51,9	49,0	53,5A	35,4	38,2	35,8	36,5A
Interrupção irrigação -15 kPa	51,0	49,5	55,1	51,9A	32,3	33,4	33,8	33,2A
Interrupção irrigação -25 kPa	40,1	51,3	41,5	44,3B	33,2	30,8	34,0	32,7A
<i>Média</i>	50,3a	50,9a	48,5a		33,6a	34,1a	34,5a	
Média Porta-enxerto		49,9a			34,1b			
Massa de matéria fresca de sistema radicular 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	79,6	98,8	77,2	85,2A	54,2	56,7	53,3	54,7A
Interrupção irrigação -15 kPa	83,8	75,4	75,7	78,3A	58,2	51,8	47,7	52,5A
Interrupção irrigação -25 kPa	79,8	64,1	56,8	66,9B	63,0	54,6	48,7	55,5A
<i>Média</i>	81,0a	79,4a	69,9b		58,4a	54,4ab	49,9b	
Média Porta-enxerto		76,7a			54,2b			
Massa de matéria seca de sistema radicular 60 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	18,4	17,0	15,5	17,0A	12,0	13,6	12,3	12,6A
Interrupção irrigação -15 kPa	16,9	15,1	17,8	16,6A	12,4	11,7	12,4	12,2A
Interrupção irrigação -25 kPa	13,9	16,0	13,6	14,5B	12,4	10,9	12,5	11,9A
<i>Média</i>	16,4a	16,0a	15,6a		12,3a	12,1a	12,4a	
Média Porta-enxerto		16,0a			12,2b			
Massa de matéria seca de sistema radicular 120 DARF								
----- g planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	31,0	37,8	31,1	33,3A	22,1	22,2	21,5	21,9A
Interrupção irrigação -15 kPa	31,1	31,4	33,1	31,9A	22,1	21,8	22,5	22,1A
Interrupção irrigação -25 kPa	27,4	26,8	24,2	26,1B	23,8	23,6	20,9	22,7A
<i>Média</i>	29,8a	32,0a	29,5a		22,7a	22,5a	21,6a	
Média Porta-enxerto		30,4a			22,3b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Área foliar e massa foliar específica

O limbo foliar de laranja ‘Valência’ foi maior quando enxertada em limão ‘Cravo’ (Tabelas 32 e 33). Como este porta-enxerto também acarretou em maior número de folhas na copa, a área foliar total resultante foi 70 e 40% superior à mesma copa sobre citrumelo ‘Swingle’, respectivamente aos 60 e 120 dias após retirada do fitilho. Em plantas submetidas à deficiência hídrica de -25 kPa, houve redução da área foliar total e do limbo foliar, logo a partir do primeiro fluxo de crescimento, em plantas sobre limão ‘Cravo’. Em plantas enxertadas sobre o citrumelo ‘Swingle’, a redução de área foliar individual ou total só se deu ao final do segundo fluxo de crescimento e em plantas submetidas a estresse durante todo o ciclo produtivo.

Plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ apresentaram menor massa foliar específica do que as sobre limão ‘Cravo’ (Tabela 33). Não houve influência dos diferentes métodos de indução de deficiência hídrica sobre esta variável, embora seja perceptível tendência de maior massa específica a medida que a deficiência hídrica foi mais intensa e prolongada ($P < 0,10$). Esta tendência também foi observada em tangor ‘Ellendale’ (*C. sinensis* Osbeck x *C. reticulata* Blanco) de seis meses de idade, submetido à deficiência hídrica por 21 dias (SAVÉ et al., 1995). A massa foliar específica aumenta em função do crescimento imediato da densidade de folhas, em frutíferas submetidas à deficiência hídrica (BACELAR et al., 2006). Apesar da redução do teor de água da folha ser uma das conseqüências esperadas após períodos de seca, sua sensibilidade é variável, tornando pouco confiáveis indicadores baseados em suculência, espessura ou massa específica de folhas (JONES, 2004).

Tabela 32 - Área foliar total e tamanho de limbo de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Área foliar total			Tamanho de limbo		
	Porta-enxerto			Porta-enxerto		
	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>
	m ²			cm ²		
Capacidade de container	0,21A	0,11A	0,16A	69,7A	41,0A	55,8A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,23A	0,09A	0,16A	60,2A	40,4A	49,7A
Interrupção irrigação -25 kPa	0,10B	0,10A	0,10B	42,2B	36,8A	38,2B
<i>Média</i>	0,17a	0,10b		56,1a	39,7b	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$) ($n = 15$).

Tabela 33 - Área foliar total, tamanho de limbo e massa foliar específica de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
	Área foliar total							
	----- m ² -----							
Capacidade de container	0,51A	0,58A	0,54A	0,55A	0,43A	0,44A	0,41A	0,42A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,55A	0,44B	0,54A	0,51AB	0,35A	0,36A	0,37AB	0,36AB
Interrupção irrigação -25 kPa	0,55A	0,46B	0,46B	0,49B	0,35A	0,38A	0,29B	0,34B
Média	0,54a	0,49a	0,52a		0,38a	0,39a	0,36a	
Média Porta-enxerto		0,51a				0,37b		
	Tamanho de limbo							
	----- cm ² -----							
Capacidade de container	65,3	61,9	57,5A	61,5A	46,3	33,5	45,8A	41,9A
Interrupção irrigação -15 kPa	65,8	55,5	51,8A	57,7A	43,1	43,9	33,1B	40,0A
Interrupção irrigação -25 kPa	62,6	61,3	42,9B	55,6A	44,7	43,3	34,7B	40,9A
Média	64,6a	59,6ab	50,7b		44,7a	40,3ab	37,9b	
Média Porta-enxerto		58,2a				40,9b		
	Massa foliar específica							
	----- g dm ⁻² -----							
Capacidade de container	1,01	0,94	0,92	0,96	0,85	0,86	0,79	0,83
Interrupção irrigação -15 kPa	0,95	0,92	0,91	0,93	0,89	0,95	0,82	0,89
Interrupção irrigação -25 kPa	0,93	0,87	0,96	0,92	0,85	0,80	0,87	0,84
Média	0,96	0,91	0,93		0,86	0,87	0,82	
Média Porta-enxerto		0,93a				0,85b		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Volume de sistema radicular

Constatou-se maior volume de sistema radicular em plantas de limão ‘Cravo’, desde o primeiro fluxo de crescimento, mesmo para plantas sob estresse (Tabela 34). Durante o 1º fluxo, não houve diminuição do volume de raízes em função da interrupção da irrigação. Plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ mantiveram esta característica até o final do experimento, o que está de acordo com a inexistência de efeitos sobre acúmulo de massa de matérias fresca e seca de sistema radicular nestes tratamentos (Tabela 31). Por outro lado, plantas de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’ apresentaram grande redução do volume de sistema radicular após 120 dias sob ciclos de interrupção da irrigação (Tabela 34). Enquanto houve crescimento em volume para quaisquer mudas sobre citrumelo ‘Swingle’, plantas submetidas à deficiência hídrica em limão ‘Cravo’

apresentaram sistema radicular com volume inferior ao observado no fluxo de crescimento anterior, demonstrando sensibilidade à interrupção de irrigação até -25 kPa nas fases 2 e 3. Sistemas radiculares de espécies cítricas como *Citrus jambhiri* Lush. e *Citrus aurantium* L. são considerados vigorosos e bastante plásticos, se adaptando rapidamente em função das condições do meio, em especial as nutricionais (SORGONÀ et al., 2007). Por outro lado, Magalhães et al. (2008) observaram a continuidade de crescimento do sistema radicular de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' após interrupção da irrigação por 20 dias, o que poderia explicar em parte a maior tolerância deste porta-enxerto à seca.

Relação raiz:copa

A relação raiz:copa foi equivalente entre os porta-enxertos, e se reduziu discretamente entre 60 e 120 dias após a retirada do fitilho (Tabela 34). Essa redução decorre do maior aumento relativo na massa de parte aérea no período (Tabelas 28 a 31). A interrupção da irrigação até o potencial hídrico do substrato atingir -15kPa não acarretou em aumento da R:C, em relação às plantas cultivadas sem deficiência hídrica, no caso de citrumelo 'Swingle'. A relação foi ampliada por quaisquer intensidades de estresse em plantas sobre limão 'Cravo', ao final do 2º fluxo de crescimento, embora estresse mais intenso já tenha modulado a razão raiz:copa nos primeiros 60 dias de avaliação. A relação raiz:copa se mostrou bastante sensível ao potencial hídrico do substrato, já que indicou aclimatação à menor disponibilidade de água em todos os períodos em que houve estresse induzido, e somente durante a permanência da indução do estresse (Tabela 34). A relação raiz:copa observada neste estudo foi similar à constatada para limão rugoso (*Citrus jambhiri* Lush.) mantido em containeres de igual volume (4,5 L), mas sem apresentar redução devido à restrição da irrigação por três dias (OUMA, 2005). O período de estresse provavelmente deve durar pelo menos cinco dias (equivalente a potencial osmótico de -15 kPa no substrato de cultivo) para afetar a relação raiz: copa.

Aproveitamento comercial de mudas

Maior percentagem de mudas aptas à comercialização foi observada em plantas sobre limão 'Cravo', sendo que logo aos 60 dias de avaliação 75% das plantas se encontravam aptas à comercialização (Tabela 35). Decorridos mais dois meses, devido à maturação do 2º fluxo de crescimento, mais de 90% das plantas foram consideradas aptas para plantio, ao passo que o

aproveitamento comercial para aquelas sobre citrumelo ‘Swingle’ foi, em média, de 78%. Considerando-se o efeito da deficiência hídrica, interrupção da irrigação a -15 ou -25kPa reduziu a percentagem de mudas comercializáveis, 120 dias após a retirada do fitilho, no caso de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’, e a -25 kPa para a mesma cultivar sobre citrumelo ‘Swingle’. Deficiência hídrica mais intensa logo nos primeiros 60 dias após a enxertia prejudicou o aproveitamento de mudas sobre limão ‘Cravo’. Experimentos recentes envolvendo mudas de um ano de idade de laranja ‘Valência’ e outros cultivares copa, sobre esses mesmos porta-enxertos em sacolas, indicaram resultados semelhantes, de maneira que, apesar de prejudicadas por suspensão da irrigação por 16 dias, as plantas sobre limão ‘Cravo’, controle ou sob estresse, foram mais desenvolvidas que as sobre o citrumelo ‘Swingle’, cujo desenvolvimento da parte aérea não foi reduzido pelo mesmo tratamento (DONATO et al., 2007).

Quanto mais rápido o ciclo de produção e maior o aproveitamento de mudas, maior é o retorno financeiro para o viveirista de citros (POZZAN; KANASHIRO, 2004). Dentro deste contexto, e pela análise dos dados, a ausência de períodos de deficiência hídrica seria desejável, especialmente em mudas sobre porta-enxerto limão ‘Cravo’, pois o crescimento das plantas seria superior. Contudo, caso o ciclo produtivo seja mais longo, por volta de quatro meses, períodos de estresse durante fases mais curtas não chegam a reduzir a comercialização de mudas (Tabela 35). A redução da irrigação proporcionaria, então, economia de insumos e mão-de-obra, além de proporcionar um meio menos úmido, e assim adequado à produção sistemática sob cultivo protegido, além de outros benefícios ambientais. Efeitos positivos sobre fitossanidade também seriam esperados com este manejo (FELD; MENGE; STOLZY, 1990; SULISTYOWATI; KEANE, 1992).

Por que mudas sobre limão ‘Cravo’ seriam mais afetadas pela interrupção da irrigação, se esse porta-enxerto é considerado um dos mais tolerantes a seca em condições de campo (POMPEU JUNIOR, 2005)? Essas plantas apresentaram um vigor muito maior, maior área foliar, e portanto maior transpiração total. A condutividade hidráulica de limões e outros porta-enxertos vigorosos é maior que a de híbridos de *Poncirus trifoliata* (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996). Assim, espera-se que estas plantas consumam mais rapidamente a água do substrato, especialmente em containeres, antecipando efeitos de estresse. Neste estudo, plantas sobre limão ‘Cravo’ demandaram 30% mais irrigações de restauração, após ciclos de suspensão até -25kPa de potencial hídrico no substrato. A massa da sacola, em alguns períodos de ambiente mais seco e

quente, chegou a ser 60% mais leve, em relação às plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ (Figura 19). Hipoteticamente, aquelas plantas foram submetidas a um período total de estresse mais longo durante o mesmo tempo de avaliação. Isto não indica necessariamente que sejam mais sensíveis aos efeitos da deficiência hídrica *per se*. A mesma copa apresentou características morfológicas mais próximas de plantas cítricas adaptadas a condições temporárias de deficiência hídrica quando enxertada sobre o limão ‘Cravo’ (SAVÉ et al., 1995).

Tabela 34 - Volume de sistema radicular e relação raiz:copa de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
Volume de sistema radicular 60 DARF								
----- mL planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	76,3	91,3	91,3	86,3A	61,3	76,3	58,8	65,4A
Interrupção irrigação -15 kPa	93,8	93,8	122,5	103,3A	68,8	76,3	58,8	67,9A
Interrupção irrigação -25 kPa	78,8	106,3	88,8	91,3A	66,3	67,5	53,8	62,5A
Média	82,9a	97,1a	100,8a		65,4a	73,3a	57,1a	
Média Porta-enxerto		93,6a				65,2b		
Volume de sistema radicular 120 DARF								
----- mL planta ⁻¹ -----								
Capacidade de container	88,8A	133,8A	95,0A	105,8A	91,3	61,3	76,8	76,4A
Interrupção irrigação -15 kPa	92,5A	93,8AB	75,0AB	87,1AB	73,8	78,8	66,3	72,9A
Interrupção irrigação -25 kPa	105,0A	78,8B	62,3B	82,0B	87,5	63,8	70,0	73,8A
Média	95,4a	102,1a	77,4b		84,2a	67,9a	71,0a	
Média Porta-enxerto		91,6a				74,3b		
Relação raiz:copa 60 DARF								
----- g g ⁻¹ -----								
Capacidade de container	0,79	0,66	0,75	0,73B	0,71	0,71	0,67	0,70A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,76	0,66	0,73	0,72B	0,76	0,72	0,73	0,74A
Interrupção irrigação -25 kPa	0,89	0,59	0,93	0,81A	0,79	0,62	0,72	0,71A
Média	0,82a	0,64b	0,80a		0,76a	0,68b	0,71a	
Média Porta-enxerto		0,75a				0,71a		
Relação raiz:copa 120 DARF								
----- g g ⁻¹ -----								
Capacidade de container	0,60	0,73	0,66	0,66B	0,64	0,63	0,64	0,64B
Interrupção irrigação -15 kPa	0,60	0,78	0,73	0,70A	0,67	0,67	0,74	0,69AB
Interrupção irrigação -25 kPa	0,62	0,79	0,69	0,70A	0,70	0,78	0,79	0,75A
Média	0,61c	0,76a	0,69b		0,67ab	0,69b	0,72a	
Média Porta-enxerto		0,69a				0,69a		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 35 - Aproveitamento comercial (%) de mudas de laranja ‘Valência’, enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 60 e 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia (DARF). Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
	60 DARF							
	----- % -----							
Capacidade de container	83,3	83,3	66,7	77,8A	50,0	66,7	55,6	57,4A
Interrupção irrigação -15 kPa	72,2	77,8	77,8	75,9AB	54,4	50,0	48,9	51,1A
Interrupção irrigação -25 kPa	55,6	88,9	66,7	70,4B	61,1	55,6	55,6	57,4A
Média	70,4b	83,3a	70,4b		51,9a	57,4a	50,0a	
Média Porta-enxerto	74,7a				53,0b			
	120 DARF							
	----- % -----							
Capacidade de container	94,4Aa	100Aa	97,8Aa	97,4A	77,8Aa	83,3Aa	81,1Aa	80,7A
Interrupção irrigação -15 kPa	100Aa	100Aa	77,8Bb	92,6A	83,3Aa	77,8Aa	83,3Aa	81,5A
Interrupção irrigação -25 kPa	100Aa	88,9Aa	72,2Bb	87,0B	77,8Aa	88,9Aa	55,6Bb	74,1B
Média	98,1a	96,3a	82,6b		79,6ab	83,3a	73,3b	
Média Porta-enxerto	92,3a				78,8b			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Potencial hídrico de folhas

As avaliações de potencial hídrico de folha ao final do 1º fluxo de crescimento das mudas indicam que, ao *predawn*, plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram menor potencial hídrico, mas no PME não houve distinção entre os porta-enxertos (Tabela 36). A combinação copa/porta-enxerto influencia o potencial hídrico das folhas para um mesmo período de deficiência hídrica (DONATO et al., 2007). Os valores de potencial hídrico durante o *predawn* poderiam ser mais interessantes para determinação da influência da umidade do substrato sobre fisiologia dos citros e sua dificuldade em re-estabelecer a turgescência foliar, uma vez que durante o PME, as condições climáticas mais adversas seriam fator preponderante, resultando em potenciais hídricos baixos mesmo em plantas bem irrigadas. Mesmo assim, nesse experimento a suspensão da irrigação até -25 kPa reduziu potencial hídrico nos dois períodos do dia.

Tabela 36 - Potencial hídrico de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia, durante predawn e período de máximo estresse (PME) (n = 24). Piracicaba, 2007

Deficiência hídrica	Predawn			PME		
	Porta-enxerto			Porta-enxerto		
	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>
	----- MPa -----					
Capacidade de container	-0,33A	-0,40A	-0,36A	-1,07A	-1,14A	-1,10A
Interrupção irrigação -15 kPa	-0,47A	-0,47AB	-0,47A	-1,13A	-1,28AB	-1,20A
Interrupção irrigação -25 kPa	-0,88B	-0,53B	-0,70B	-1,55B	-1,38B	-1,47B
<i>Média</i>	-0,56b	-0,47a		-1,25a	-1,26a	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

Ao final do experimento, as plantas apresentaram comportamento semelhante. Entretanto, a interrupção da irrigação não reduziu o potencial hídrico no PME (Tabela 37). Mais uma vez, avaliação no predawn foi mais eficiente para indicar o efeito de estresse mais intenso sobre as mudas. Os valores de potencial hídrico registrados neste trabalho diferem daqueles observados anteriormente para períodos de interrupção de irrigação próximos (DONATO et al., 2007; MEDINA, 1997). O uso de diferentes tipos de substrato resulta em curvas de retenção de água distintas e, conseqüentemente, valores de potencial hídrico diferentes e estresse mais ou menos intenso. O potencial osmótico de substratos artificiais que resulta em deficiência hídrica é muito inferior ao registrado para solos minerais, em função de suas propriedades físicas distintas (ARGO, 1997). Diferenças de porte da planta e da localização da folha amostrada também podem explicar em parte essa variação.

O potencial hídrico de folhas no último dia de interrupção de irrigação a -25 kPa foi sempre inferior aos verificados nos demais tratamentos (Figura 26). Contudo, um dia após a irrigação de restauração, o potencial hídrico já se eleva e se equivale ao de plantas controle. Após nova suspensão de rega, o potencial hídrico volta a diminuir gradativamente. Plantas cítricas apresentam grande poder de recuperação de turgescência após estiagens, especialmente sobre porta-enxertos com condutividade hidráulica alta (ORTUÑO et al., 2006). Este comportamento poderia indicar que a deficiência hídrica temporária, mesmo que intensa, não chega a alterar características morfo-anatômicas ligadas a absorção e condução de água na planta cítrica, caracterizando mecanismos de tolerância à dessecação (KOZLOWSKI; PALLARDY, 2002).

Tabela 37 - Potencial hídrico de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumele ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fítilho da enxertia, durante predawn e período de máximo estresse (PME) (n = 24). Piracicaba, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumele ‘Swingle’			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
	Fase 1	Fase 2	Fase 3		Fase 1	Fase 2	Fase 3	
<i>Predawn</i>								
----- MPa -----								
Capacidade de container	-0,82A	-0,82A	-0,82A	-0,82A	-0,73	-0,73A	-0,73A	-0,73A
Interrupção irrigação -15 kPa	-0,85A	-0,99B	-0,84AB	-0,90AB	-0,78	-0,73A	-0,72A	-0,74A
Interrupção irrigação -25 kPa	-0,85A	-1,01B	-0,90B	-0,92B	-0,65	-0,70A	-0,82B	-0,72A
<i>Média</i>	-0,84a	-0,94a	-0,85a		-0,72a	-0,72a	0,-76a	
<i>Média Porta-enxerto</i>			-0,88b				-0,73a	
<i>PME</i>								
----- MPa -----								
Capacidade de container	-1,60	-1,60	-1,60	-1,60A	-1,79	-1,79	-1,79	-1,79A
Interrupção irrigação -15 kPa	-1,80	-1,81	-1,61	-1,74A	-1,81	-1,86	-1,72	-1,80A
Interrupção irrigação -25 kPa	-1,66	-1,69	-1,60	-1,65A	-1,76	-1,76	-1,57	-1,69A
<i>Média</i>	-1,69a	-1,70a	-1,60a		-1,79	-1,80	-1,69	
<i>Média Porta-enxerto</i>			-1,66a				-1,76a	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

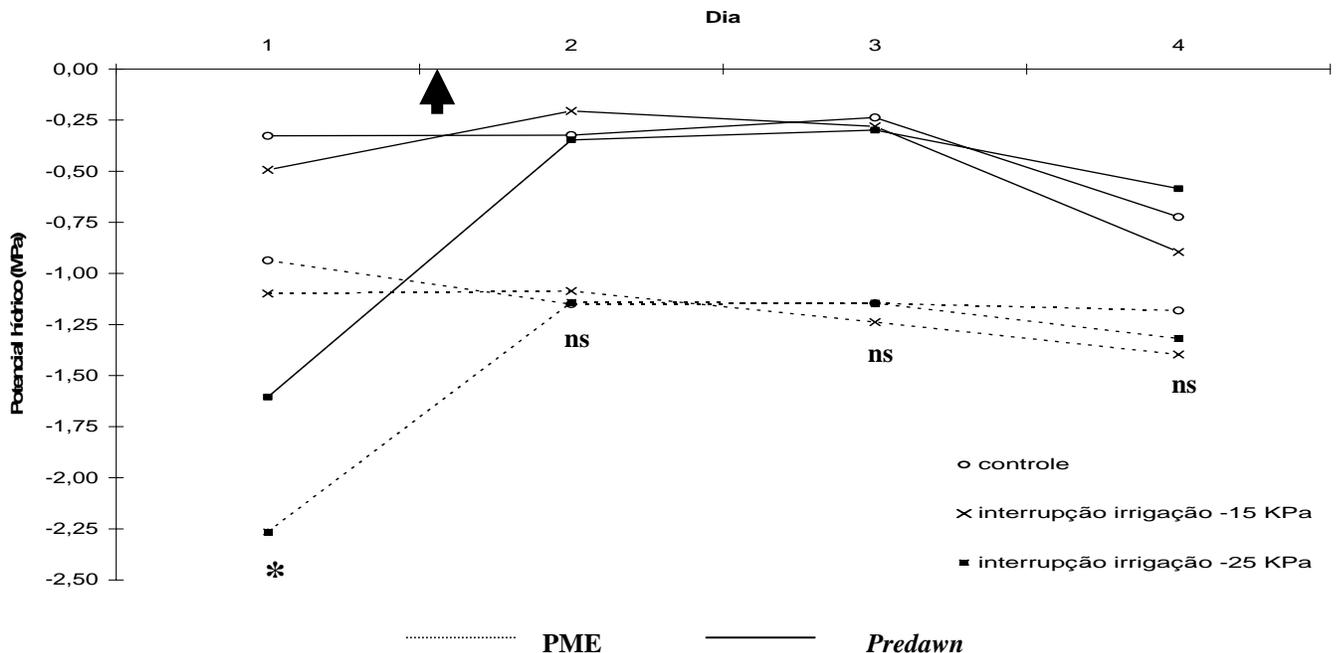


Figura 26 - Potencial hídrico de folhas de mudas de laranja ‘Valência’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, durante período de máximo estresse (PME) e predawn, ao longo de quatro dias consecutivos. Cada ponto em um dia corresponde a média de 12 plantas. A seta indica quando foi realizada irrigação para recuperação de capacidade de container em plantas submetidas à interrupção da irrigação. Só houve diferença significativa entre tratamentos no dia 1 (máximo estresse, último dia antes da irrigação de restauração) (n=12). Piracicaba, 2007

Trocas gasosas

As variáveis de fotossíntese condutância estomática, taxa líquida de assimilação de gás carbônico e transpiração foram inversamente proporcionais à intensidade de deficiência hídrica, ao final do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada do fitilho de enxertia (Tabela 38). As medições foram conduzidas em dias que antecederam a irrigação de recuperação, de modo que as plantas estavam sob estresse, e apresentando murcha no caso de potencial osmótico de -25kPa no substrato. Cada porta-enxerto induziu uma resposta distinta. Embora as trocas gasosas tenham sido semelhantes sob condições ótimas de disponibilidade de água, a redução de valores nas variáveis de fotossíntese foi maior em plantas enxertadas sobre o limão ‘Cravo’, em geral chegando a 70% de redução sob estresse a -25kPa. O efeito de deficiência hídrica a -15kPa foi bem menos restritivo. Limão ‘Cravo’ foi menos tolerante à suspensão de irrigação em container do que *Poncirus trifoliata*, que apresentou melhores valores quanto a relações hídricas da copa de laranja ‘Valência’ (MEDINA; MACHADO; PINTO, 1998). Este último porta-enxerto, embora considerado sensível à seca, induziu maiores taxas de assimilação de CO₂ em copa de laranja ‘Valência’ em relação ao porta-enxerto laranja doce, após dois meses de suspensão de irrigação em condições de campo (SYVERTSEN; LLOYD; KRIEDEMANN, 1988). Apesar de induzirem condutância estomática e níveis de transpiração semelhantes até potencial hídrico de -15kPa, citrumelo ‘Swingle’ sempre resultou em maiores taxas de assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, maior eficiência no uso da água (WUE) nas copas de laranja ‘Valência’ (Tabela 38). Sob déficit de -25kPa, a acentuada redução da condutância estomática em plantas sobre limão ‘Cravo’ (50% da observada em plantas sobre citrumelo ‘Swingle’) resultou em queda pronunciada da fotossíntese e, em menor escala, da transpiração. A maior temperatura foliar em laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’ (Tabela 35) deve resultar da maior área do limbo e da morfologia das folhas, pois se observou que folhas de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’ eram mais planas, e com maior ângulo de inserção no caule, resultando em maior radiação incidente. Os sintomas de murcha foram também mais evidentes, e este comportamento visa indiretamente à redução da temperatura (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Tabela 38 - Condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂, transpiração, temperatura do limbo foliar e eficiência do uso da água (WUE) de mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2007

Deficiência hídrica	Condutância estomática (mol m ⁻² s ⁻¹)			Taxa de assimilação de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)		
	Porta-enxerto			Porta-enxerto		
	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>
Capacidade de container	0,141	0,129	0,135A	3,29	3,80	3,54A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,077	0,094	0,085B	1,98	3,04	2,51B
Interrupção irrigação -25 kPa	0,041	0,078	0,059C	0,96	2,49	1,72C
<i>Média</i>	0,086a	0,100a		2,10b	3,11a	

	Transpiração (mmol m ⁻² s ⁻¹)			Temperatura foliar (°C)		
	Porta-enxerto			Porta-enxerto		
	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>
Capacidade de container	2,30Aa	2,23Aa	2,26A	26,3	26,0	26,1
Interrupção irrigação -15 kPa	1,40Ba	1,71Ba	1,55B	26,3	26,1	26,2
Interrupção irrigação -25 kPa	0,85Cb	1,44Ba	1,14B	26,6	26,3	26,4
<i>Média</i>	1,52a	1,79a		26,4a	26,1b	

	WUE (μmol CO ₂ mmol ⁻¹ H ₂ O)		
	Porta-enxerto		
	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	<i>Média</i>
Capacidade de container	1,49	1,88	1,70A
Interrupção irrigação -15 kPa	1,29	1,90	1,59A
Interrupção irrigação -25 kPa	0,90	1,73	1,31B
<i>Média</i>	1,23b	1,84a	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05) (n = 15).

Ao final do experimento, 120 dias após a retirada do fitilho, procedeu-se a nova avaliação da fotossíntese. Como as plantas atingiram porte elevado, e as folhas inseridas no primeiro fluxo de crescimento (seis meses de idade) se encontravam sombreadas em relação às folhas mais novas do 2º fluxo (três meses de idade), determinaram-se inicialmente as variáveis de fotossíntese nas duas idades (Tabela 39). De fato, folhas mais novas apresentaram maiores valores de condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂ e transpiração, embora a sua temperatura foliar e WUE tenham sido semelhantes às de folhas com seis meses de idade. A WUE foi reduzida por deficiência hídrica mais intensa em folhas das duas idades e sobre ambos os porta-enxertos.

Tabela 39 - Condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂, transpiração, temperatura do limbo foliar e eficiência no uso da água (WUE) de folhas de 1º fluxo (6 meses de idade) e folhas de 2º fluxo (3 meses de idade) em mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2008

Deficiência hídrica	Folhas 1º fluxo			Folhas 2º fluxo		
	Porta-enxerto		Média	Porta-enxerto		Média
	Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’		Limão ‘Cravo’	Citrumelo ‘Swingle’	
Condutância estomática						
----- mol m ⁻² s ⁻¹ -----						
Capacidade de container	0,070	0,120	0,095A	0,150	0,180	0,168A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,080	0,080	0,083A	0,120	0,140	0,127AB
Interrupção irrigação -25 kPa	0,030	0,070	0,052A	0,060	0,090	0,075B
Média	0,062	0,092		0,112	0,135	
Média Folha		0,077b			0,124a	
Taxa de assimilação de CO ₂						
----- μmol m ⁻² s ⁻¹ -----						
Capacidade de container	1,37A	2,37A	1,86A	2,03	3,28	2,66A
Interrupção irrigação -15 kPa	1,49A	1,84A	1,66A	1,97	3,10	2,53A
Interrupção irrigação -25 kPa	0,42B	1,45A	0,93B	1,18	1,82	1,50B
Média	1,09b	1,88a		1,73b	2,73a	
Média Folha		1,48b			2,23a	
Transpiração						
----- mmol m ⁻² s ⁻¹ -----						
Capacidade de container	1,87Aa	2,63Aa	2,25A	3,48	3,78	3,63A
Interrupção irrigação -15 kPa	2,25Aa	2,26Aa	2,25A	3,19	3,32	3,25A
Interrupção irrigação -25 kPa	0,97Bb	1,86Aa	1,41A	1,59	2,10	1,85B
Média	1,70	2,25		2,75	3,07	
Média Folha		1,97b			2,91a	
Temperatura foliar						
----- °C -----						
Capacidade de container	33,81	33,85	33,8B	33,57	33,63	33,6B
Interrupção irrigação -15 kPa	34,51	34,79	34,6A	34,80	34,30	34,5AB
Interrupção irrigação -25 kPa	35,07	34,84	35,0A	35,71	34,68	35,2A
Média	34,5	34,5		34,7a	34,2b	
Média Folha		34,44a			34,47a	
WUE						
----- μmol CO ₂ mmol ⁻¹ H ₂ O -----						
Capacidade de container	0,82	1,10	0,96A	0,75	0,94	0,84A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,69	0,78	0,74A	0,78	0,98	0,88A
Interrupção irrigação -25 kPa	0,15	0,44	0,31B	0,40	0,46	0,43B
Média	0,57	0,77		0,64	0,79	
Média Folha		0,67a			0,70a	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

Independentemente da idade da folha, novamente o emprego de limão ‘Cravo’ como porta-enxerto resultou em menores taxas de assimilação de CO₂ e maior temperatura foliar sob deficiência hídrica intensa (Tabela 39). As demais variáveis foram estatisticamente equivalentes para os dois porta-enxertos ($P < 0,05$), embora exista tendência recorrente de maiores médias para o citrumelo ‘Swingle’, sob quaisquer potenciais osmóticos do substrato. Além dos maiores valores absolutos para variáveis de trocas gasosas em geral, folhas mais novas, do 2º fluxo, foram também mais sensíveis à variação da umidade do substrato, de modo que se julgou ser melhor indicador para os efeitos dos tratamentos estudados. As demais medições após esta análise foram obtidas, pois, a partir de folhas maduras provenientes do 2º fluxo de crescimento das mudas (Tabela 39). Folhas novas (um mês de idade) de limão verdadeiro *Citrus limon* L. Burm. apresentaram maior condutância estomática e também se mostraram indicador mais sensível à interrupção de irrigação do que folhas com mais de quatro meses de idade (RUIZ-SÁNCHEZ, 1997).

Os resultados observados ao final do 2º fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada do fitilho, contrastaram em relação aos resultados observados ao final do 1º fluxo de crescimento (Tabelas 40 e 38). As medições também foram obtidas durante o período de estresse, e algumas plantas mostravam murcha. Mesmo assim, observaram-se médias superiores durante as medições finais (120 dias após retirada do fitilho), em especial quanto à taxa líquida de assimilação de CO₂. As diferentes condições ambientais durante as medições em cada fase de crescimento podem explicar parte dessa diferença entre as médias das variáveis de trocas gasosas (Figura 27). Durante a avaliação do 1º fluxo de crescimento, e mesmo no experimento anterior envolvendo PEG, a temperatura do ambiente foi bem inferior à observada em pleno verão, quando foi realizada a avaliação do 2º fluxo de crescimento (Figura 27 B). Em alguns momentos, essa diferença foi de mais de 10°C. A faixa de temperatura durante o 2º fluxo (30-36°C), embora próxima à temperatura máxima a partir do qual se considera haver restrição ao crescimento dos citros (38°C), é muito mais propícia ao crescimento vegetativo das plantas, em estreita associação à maior taxa líquida de assimilação fotossintética (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996). Em limão verdadeiro, embora temperaturas acima de 25 a 30°C resultem em redução da taxa fotossintética, até 40°C a assimilação ainda é superior ou equivalente à obtida entre 10 a 20°C (PIMENTEL; BERNACCHI; LONG, 2007). Os autores afirmam que os mecanismos de redução

da taxa fotossintética líquida variam conforme a temperatura, sendo que sob maiores temperaturas ocorre maior respiração e possível oxidação da ribulose-1,5-bisfosfato.

Neste experimento, durante as medições conduzidas 120 dias após a retirada do fitilho, observou-se maior PAR externa, próxima a $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, enquanto que em todas as avaliações anteriores se atingiu no máximo $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, ou seja, cerca de 50% do ponto de saturação lumínica de citros ($750 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), em especial de laranjas doces e da cultivar ‘Valência’ (MACHADO et al., 2005). A concentração interna de CO_2 (Ci) esteve entre 100 e 200 kPa durante quaisquer avaliações de fotossíntese, independentemente da época do ano. Assim, pode ter existido influência tanto pela radiação como pela temperatura nas avaliações de primavera e inverno, além do efeito dos tratamentos. Acredita-se que a temperatura do ar, e, conseqüentemente, da folha, tenha sido o principal fator que explique os maiores patamares de trocas gasosas apontados, uma vez que tanto mudas como plantas adultas de citros em campo tenham apresentado melhor desempenho fisiológico decorrente da maior assimilação líquida de CO_2 quando produzidos sob telas reflexivas, sob condições de PAR significativamente reduzida (MEDINA et al., 2002; RAVEH et al., 2003). Na verdade, estudos sobre mudanças climáticas impactando citros indicam que sua biomassa, sua taxa fotossintética e demais relações hídricas aumentam em plantas mantidas sob temperaturas até 6°C acima da temperatura ambiente, especialmente na presença de maiores concentrações atmosféricas de CO_2 (KIMBALL et al., 2007; VU et al., 2002). Restrições à difusão do CO_2 devem ser o principal fator que limita a fotossíntese de folhas de laranja ‘Valência’ sob deficiência hídrica moderada, independentemente do porta-enxerto (ERISMANN; MACHADO; TUCCI, 2008).

De maneira geral, a deficiência hídrica em mudas de 2º fluxo não afetou as variáveis de fotossíntese, a não ser quando aplicada por todo o ciclo produtivo (Fase 3), ao potencial osmótico de -25 kPa no substrato (Tabela 40). Nesta situação, apontam-se menores taxas de fotossíntese e transpiração em plantas sobre citrumelo ‘Swingle’. Por outro lado, temperatura foliar e WUE foram equivalentes em ambos os porta-enxertos, sendo que plantas sob deficiência hídrica apresentaram maiores temperaturas foliares, provavelmente devido menor conteúdo relativo de água. Essa aparente contradição com os resultados anteriores, com inversão do comportamento da copa em função do porta-enxerto, pode ser explicada pelas condições ambientais mais propícias à combinação laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’, ou seja, otimizando seu crescimento.

Os valores de WUE foram muito mais elevados ao final do 2º fluxo de crescimento em função de taxas de assimilação de CO₂ superiores e próximas da faixa considerada típica dos citros em condições de campo (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996) (Tabela 40). Plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram o mesmo comportamento em relação às enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’, a não ser pela menor taxa fotossintética média. Mudanças de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’, tangerina ‘Sunki’ e citrumelo ‘Swingle’ apresentaram respostas fotossintéticas similares sob mesmas condições de umidade do substrato (ERISMANN; MACHADO; TUCCI, 2008). Entretanto, o efeito da seca na avaliação final deste experimento foi inexpressivo, e as taxas fotossintéticas médias foram bem superiores às observadas nas avaliações anteriores sobre limão ‘Cravo’, a despeito da intensidade de deficiência hídrica por interrupção de irrigação. Trabalhos anteriores apontam que, após apenas quatro ciclos de estresse/restauração de irrigação com duração de 20 dias, mudas de ‘Clementina de Nules’ sobre citrange ‘Carrizo’ não apresentavam mesmo patamar de taxa fotossintética, condutância estomática e potencial hídrico de folhas, ou seja, houve prejuízo irreversível ao aparato fotossintético das plantas mesmo após retomada da irrigação (ARBONA et al., 2005a). No caso deste experimento, o fato da taxa fotossintética e outras variáveis da fotossíntese terem aumentado ao final de uma seqüência de 60 ou 120 dias sob ciclos de estresse/restauração (5 ou 10 dias sem rega), indica que fatores ambientais e genéticos influem sobre as trocas gasosas de modo bastante complexo e heterogêneo, conforme discutido previamente, mas que citros apresentam potencial para plena recuperação de crescimento vegetativo e performance fisiológica após seca intermitente e prolongada (VU; YELENOSKY, 1988).

Embora o limão ‘Cravo’ tenha induzido maior vigor à copa de laranja ‘Valência’, esta apresentou quase sempre maior taxa de assimilação líquida de CO₂ sobre citrumelo ‘Swingle’, mesmo sob deficiência hídrica intensa. Uma explicação plausível seria que, apesar da menor taxa líquida, plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram maior área foliar total, portanto maior produção absoluta de fotoassimilados, resultando em maior crescimento. A expansão da área foliar parece depender muito mais da disponibilidade de água do que de assimilados (TAIZ; ZEIGER, 2004), de modo que a deficiência hídrica reduziu sensivelmente este parâmetro. Um porta-enxerto mais aclimatado a condições de seca, como o limão ‘Cravo’, apresenta maior plasticidade diante de condições adversas, de modo a conservar processos metabólicos essenciais

e apresentar recuperação mais imediata. Estas características foram de modo geral transmitidas à copa de laranja ‘Valência’.

Outro ponto a ser discutido é que os citros apresentam uma auto-regulação da fotossíntese pela razão fonte: dreno, em função de conteúdo de carboidratos nas folhas (IGLESIAS et al., 2002). Deste modo, maiores acúmulos de amido inibem a taxa fotossintética. Como plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram sempre maiores reservas de amido em folhas e demais órgãos, houve uma redução compensatória da fotossíntese. A relação direta entre a taxa de assimilação líquida de CO₂ de uma dada espécie, expressa em termos de assimilação por área foliar, e a sua respectiva taxa de crescimento é um ponto controverso para as culturas em geral (KRUGER; VOLIN, 2006). Parâmetros como taxa bruta de assimilação de CO₂, expressa em termos de massa seca de planta, ou área foliar específica, seriam melhores indicadores para análise de crescimento de plantas, sendo que quanto maior a intensidade luminosa incidente na folha, maior a correlação entre essas variáveis. Sob esta ótica, plantas com crescimento mais vigoroso não apresentam necessariamente maior taxa fotossintética. As espécies cítricas, embora tendo diferentes respostas quanto a saturação lumínica e inibição por temperatura (IGLESIAS et al., 2002; MACHADO et al., 2005; PIMENTEL; BERNACCHI; LONG, 2007; RAVEH et al., 2003), têm em geral baixas taxas líquidas de assimilação de CO₂ quando comparadas a outras plantas C₃, herbáceas ou lenhosas. Plantas de ciclo anual ou até frutíferas de clima temperado, com estações ou ciclos de vida bastante definidos e intensos, apresentam comparativamente altas taxas fotossintéticas (PALLARDY, 2008). Plantas perenes sempre verdes, como os citros, apresentam fotossíntese constante, embora a níveis distintos ao longo do ano, e em geral mais reduzida. A origem dos porta-enxertos estudados neste trabalho, em que se confronta um híbrido natural oriundo de clima tropical de monções em condições de sub-bosque (limão ‘Cravo’) a um híbrido obtido por melhoramento a partir de genitores adaptados tanto a clima temperado como a equatorial (citrumelo ‘Swingle’), pode ter determinado as diferentes características de adaptação fisiológica a fatores abióticos como déficit hídrico, luminosidade, entre outros. Por sua vez, o porta-enxerto exerce influência sobre as condições hídricas e morfológicas da variedade copa sobre ele enxertada.

Tabela 40 - Condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂, transpiração, temperatura do limbo foliar e eficiência no uso da água (WUE) de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2008

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
Condutância estomática								
----- mol m ⁻² s ⁻¹ -----								
Capacidade de container	0,100	0,100	0,100	0,100A	0,140	0,140	0,140	0,140A
Interrupção irrigação -15 kPa	0,199	0,116	0,130	0,148A	0,158	0,128	0,132	0,139A
Interrupção irrigação -25 kPa	0,213	0,102	0,116	0,144A	0,148	0,126	0,095	0,123A
Média	0,171a	0,106b	0,115b		0,149a	0,132ab	0,122b	
Média Porta-enxerto	0,131a				0,134a			
Taxa de assimilação de CO ₂								
----- μmol m ⁻² s ⁻¹ -----								
Capacidade de container	5,22a	5,23a	5,21a	5,22A	6,50a	6,55a	6,52Aa	6,53A
Interrupção irrigação -15 kPa	6,44a	5,84a	5,74a	6,01A	6,53a	6,08a	6,30Aa	6,30A
Interrupção irrigação -25 kPa	5,67a	5,40a	5,66a	5,57A	6,34a	6,26a	5,34Bb	5,98A
Média	5,77a	5,48a	5,54a		6,47a	6,30a	6,06a	
Média Porta-enxerto	5,60b				6,27a			
Transpiração								
----- mmol m ⁻² s ⁻¹ -----								
Capacidade de container	2,45	2,44	2,47	2,45A	3,12	3,34	3,45	3,30A
Interrupção irrigação -15 kPa	4,13	2,73	3,22	3,36A	3,51	3,13	3,37	3,34A
Interrupção irrigação -25 kPa	4,44	2,42	2,78	3,21A	3,18	3,15	2,25	2,86A
Média	3,67a	2,53a	2,81a		3,30a	3,17a	2,95a	
Média Porta-enxerto	3,00a				3,13a			
Temperatura foliar								
----- °C -----								
Capacidade de container	33,0	33,1	33,0B	33,0A	32,8	32,7	32,9B	32,8A
Interrupção irrigação -15 kPa	33,0	33,7	34,0A	33,6A	33,0	33,7	33,9A	33,5A
Interrupção irrigação -25 kPa	33,2	33,9	34,1A	33,8A	33,3a	33,8a	34,3A	33,8A
Média	33,1a	33,5a	33,7a		33,0a	33,4a	33,7a	
Média Porta-enxerto	33,4a				33,3a			
WUE								
----- μmol CO ₂ mmol ⁻¹ H ₂ O -----								
Capacidade de container	2,20	2,23	2,26A	2,23A	2,24	2,29	2,18A	2,23A
Interrupção irrigação -15 kPa	1,68	2,42	1,93A	2,01A	2,24	2,06	1,98A	2,10A
Interrupção irrigação -25 kPa	1,32	2,90	3,05B	2,42A	2,11	2,39	3,49B	2,67A
Média	1,74b	2,52a	2,41a		2,20a	2,23a	2,57a	
Média Porta-enxerto	2,22a				2,33a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

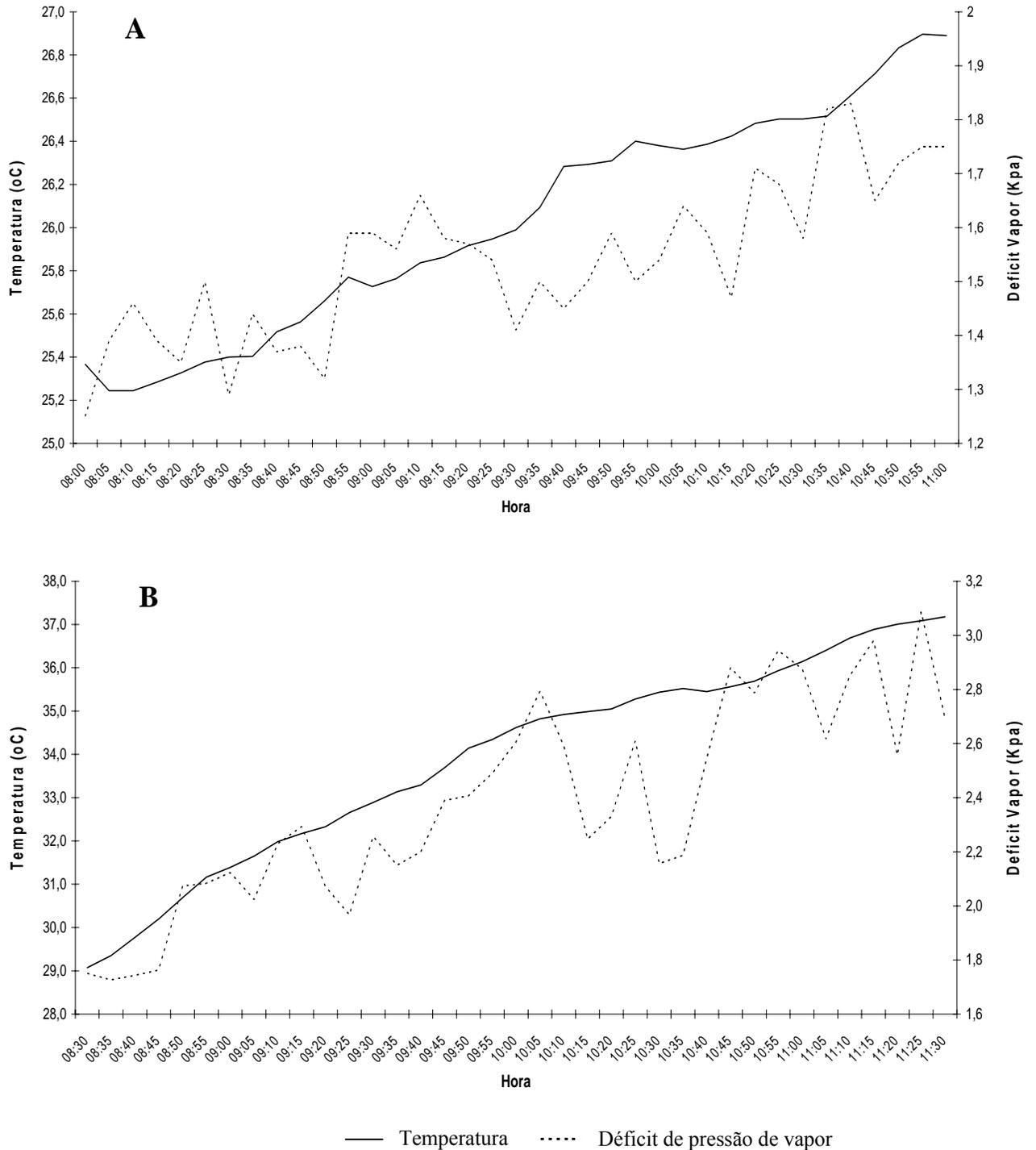


Figura 27 - Temperatura e déficit de pressão de vapor atmosférico registrados durante período de avaliação de variáveis de fotossíntese de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro (A) e do segundo (B) fluxos de crescimento, respectivamente cerca de 60 (A) e 120 (B) dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2007/2008

Concentração foliar de macro e micronutrientes

A concentração de nutrientes nas folhas do enxerto foi influenciada pelo porta-enxerto de maneira que plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ apresentaram maiores concentrações de N, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn 120 dias após a retirada do fitilho (Tabelas 41 a 43). A concentração foliar de P não foi influenciada pelo porta-enxerto, enquanto plantas sobre limão ‘Cravo’ acumularam maiores quantidades de K exclusivamente. Conforme observado anteriormente no experimento envolvendo PEG, plantas sobre limão ‘Cravo’ apresentaram concentrações baixas de N e Zn em folhas do 2º fluxo, em relação à faixa ideal de interpretação de teores de nutrientes em tecido foliar de ramos não-frutíferos de citros e de mudas cítricas em containeres (BATAGLIA et al., 2008; HANLON; OBREZA; ALVA, 1995). Folhas de citros deficientes em N apresentam redução da fotossíntese, devido à deformação das membranas do cloroplasto decorrente do acúmulo anormal de grânulos de amido (BONDADA; SYVERTSEN, 2005). Os demais nutrientes se encontraram em níveis adequados. A acentuada redução de nitratos e da eletrocondutividade da solução do substrato ao longo do experimento acarretou em menor disponibilidade e absorção de nutrientes especialmente nos últimos 60 dias de condução (Figuras 23 e 24). Esta condição, porém, não acarretou em menor aproveitamento comercial das mudas nem prejuízo ao crescimento vegetativo até 120 dias após a retirada do fitilho de enxertia.

Como plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ sempre apresentaram maior vigor e tamanho que plantas sobre citrumelo ‘Swingle’ (Tabelas 25 a 35), e a quantidade de nutrientes diminuiu gradativamente no substrato, as menores concentrações de nutrientes simplesmente poderiam resultar de diluição nos tecidos vegetais ou absorção aquém do demandado por essas plantas. Contudo, o maior acúmulo de K sobre limão ‘Cravo’, e sendo este um nutriente bastante sujeito à lixiviação em sacolas de mudas de citros (BOAVENTURA et al., 2004), sugere que as diferentes concentrações de nutrientes observadas neste trabalho em folhas maduras resultem de diferentes características inerentes ao sistema radicular do porta-enxerto. A maior afinidade do limão ‘Cravo’ por K também pode estar envolvida com suas respostas de maior adaptação à deficiência hídrica.

Os porta-enxertos de citros são caracterizados por apresentar diferentes habilidades em absorção e translocação de nutrientes, resultando por exemplo em diferentes acúmulos de nutrientes ou eficiências produtivas para uma mesma variedade copa (QUAGGIO et al., 2004). Este mecanismo explica, por exemplo, a maior tolerância de certas espécies a íons específicos

como Na^+ e Cl^- (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996). Espécies tolerantes ao Cl^- no solo, por exclusão deste íon em tecidos foliares, passam a acumular grandes quantidades quando enxertadas em espécies sensíveis (MOYA et al., 2002). Assim, a eficiência de assimilação de nutrientes também é influenciada pelo porta-enxerto, sendo determinada tanto por propriedades específicas do sistema radicular como pelas relações hídricas estabelecidas pelo porta-enxerto, sob condições irrigadas ou de sequeiro (MOYA et al., 2003; ROMERO et al. 2006).

As menores concentrações de nutrientes em geral observadas neste experimento, em relação ao anterior (Tabelas 17 a 19), poderiam ser atribuídas a variações na composição do substrato, que recebe adubação de base (calcário e fósforo) e, portanto, passível de influenciar na disponibilidade especialmente dos micronutrientes, ou ainda a diferenças no crescimento vegetativo entre as plantas em épocas distintas do ano.

A intensidade da deficiência hídrica não influenciou a concentração foliar de Zn e Cu sobre ambos os porta-enxertos, tendo ocorrido o mesmo com Fe e Ca em plantas respectivamente enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ (Tabelas 41 a 43). Contudo, as plantas sobre os dois porta-enxertos apresentaram maiores concentrações foliares dos demais nutrientes, a exceção de K, quando submetidas à deficiência hídrica. Em geral, um menor potencial hídrico no substrato (-25kPa) resultou em maior concentração de nutriente, e quanto mais longo o período de indução de estresse, maior foi o acúmulo de nutrientes. Boro foi mais acumulado em folhas somente quando as plantas foram submetidas à deficiência hídrica na Fase 3 (ciclo inteiro), independentemente de sua intensidade. Finalmente, houve redução de concentração foliar em função da seca temporária apenas para K, ao contrário do observado anteriormente em porta-enxertos de tangerina ‘Cleópatra’ e citrange ‘Carrizo’ (GARCIA-SÁNCHEZ et al., 2007).

A influência da seca sobre a concentração de íons em citros e plantas em geral é controversa, pois, trabalhos apresentam grande variação para um mesmo nutriente em função de muitas variáveis como espécies, órgão, idade, época do ano, sistema de cultivo, entre outras (GARCIA-SÁNCHEZ et al., 2007; GUNES et al., 2007; GUO et al., 2007; KITAO et al., 2007; LEVY; SYVERTSEN, 1983). Surpreendentemente, apesar dos claros efeitos sobre a produção, há poucos estudos sobre a interação entre deficiência hídrica por seca e a dinâmica de absorção, translocação e assimilação de nutrientes, e em geral os trabalhos disponíveis enfocam N (BARBANTI; MONTI; VENTURI, 2007; GARCIA et al., 2007; KELLER, 2005). Via de regra, como a absorção de nutrientes é determinada pela transpiração da planta pelo *continuum* solo-

planta-atmosfera, espera-se que a redução na transpiração devido à interrupção da irrigação e depleção de umidade no substrato resultasse indiretamente em menor absorção de nutrientes, contribuindo parcialmente para reduzir a produtividade. No caso deste experimento, a maior concentração de nutrientes em geral, observada após períodos cíclicos de suspensão da rega, pode resultar da maior quantidade de nutrientes no substrato mais seco, menos sujeito a lixiviação diária, mesmo que apenas durante a primeira metade do ciclo produtivo (Figuras 23 e 24). Em beterraba, uma redução inicial da absorção de N em função de menor umidade do substrato é posteriormente compensada por maior absorção e translocação de N a folhas novas, após a restauração da irrigação (BARBANTI; MONTI; VENTURI, 2007). Sob exposição a seca prolongada, o sistema radicular de laranja azeda manteve ou recuperou instantaneamente sua capacidade de absorção de fósforo e água, após restauração da irrigação (EISSENSTAT et al., 1999).

Além disso, as plantas submetidas à seca apresentaram menor crescimento de parte aérea e menor área e massa foliares, e seu sistema radicular foi reduzido menos intensamente pela seca, de modo a aumentar a razão raiz:copa (Tabelas 27 a 34). Portanto, a superfície radicular para absorção de nutrientes pode ter sido reduzida em menor proporção que a massa dos órgãos de acúmulo de nutrientes, resultando em maior concentração final nas folhas. Paradoxalmente, esta maior concentração resultante de nutrientes poderia ser considerada um mecanismo de auto-regulação da planta visando compensar parcialmente efeitos deletérios da seca, como observado para N em bétula (KITAO et al, 2007). Alterações morfológicas e fisiológicas em pistache devido *status* nutricional estão ligadas indiretamente a sua tolerância à seca, por exemplo (TRUBAT; CORTINA; VILAGROSA, 2006).

O potássio é um nutriente diretamente ligado ao turgor celular, movimentos estomáticos e regulação das relações hídricas das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004). Deste modo, como estresse hídrico afeta estes parâmetros e reduz potencial hídrico das folhas e condutância estomática, pode estar associado à diminuição momentânea dos teores deste nutriente em folhas sob deficiência hídrica intensa. Algumas plantas com deficiência em K chegam a apresentar sintomas similares aos decorrentes por seca, como murcha e encarquilhamento de folhas, e encurtamento de internódios (TAIZ; ZEIGER, 2004). A redução de K em folhas em função de interrupção de irrigação já foi constatada em citros sob condições de campo (SYVERTSEN; LLOYD; KRIEDEMANN, 1988).

Tabela 41 - Concentração foliar de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
	N							
	----- g kg ⁻¹ -----							
Capacidade de container	21,82	21,16	20,70	21,23B	25,99	25,46	27,35	26,27B
Interrupção irrigação -15 kPa	21,33	22,26	21,93	21,84B	24,48	25,69	27,16	25,78B
Interrupção irrigação -25 kPa	25,18	22,66	28,52	25,45A	26,06	28,96	28,05	27,69A
Média	22,77a	22,03a	23,72a		25,51b	26,70ab	27,52a	
Média Porta-enxerto		22,84b				26,57a		
	P							
	----- g kg ⁻¹ -----							
Capacidade de container	1,44	1,19	1,40	1,34B	1,49	1,30	1,35	1,38B
Interrupção irrigação -15 kPa	1,42	1,44	1,46	1,44B	1,37	1,49	1,44	1,44B
Interrupção irrigação -25 kPa	1,53	1,51	1,83	1,63A	1,47	1,58	1,54	1,53A
Média	1,47ab	1,38b	1,56a		1,44a	1,46a	1,44a	
Média Porta-enxerto		1,47				1,45		
	K							
	----- g kg ⁻¹ -----							
Capacidade de container	33,33	33,83	32,50	33,22A	26,50	25,00	26,00	25,83A
Interrupção irrigação -15 kPa	35,67	32,77	33,17	33,87A	26,00	27,00	24,33	25,78A
Interrupção irrigação -25 kPa	32,00	30,33	28,42	30,25B	25,00	24,17	25,00	24,72B
Média	33,67a	32,31ab	31,36b		25,83a	25,39ab	25,11b	
Média Porta-enxerto		32,44a				25,44b		
	Ca							
	----- g kg ⁻¹ -----							
Capacidade de container	11,75	11,72	12,58	12,02B	18,54	20,99	20,26	19,93A
Interrupção irrigação -15 kPa	12,48	12,82	13,04	12,78B	18,28	17,72	21,39	19,13A
Interrupção irrigação -25 kPa	14,57	11,47	15,40	13,81A	19,01	19,99	21,05	20,02A
Média	12,93b	12,00b	13,67a		18,61b	19,56b	20,90a	
Média Porta-enxerto		12,87b				19,70a		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 42 - Concentração foliar de magnésio, enxofre, boro e ferro, de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
	Mg g kg ⁻¹							
Capacidade de container	2,31	2,31	2,46	2,36B	3,88	3,69	3,68	3,75B
Interrupção irrigação -15 kPa	2,77	2,61	2,70	2,69A	4,06	4,24	3,98	4,09A
Interrupção irrigação -25 kPa	2,85	2,63	3,31	2,93A	3,87	4,24	4,54	4,22A
Média	2,64a	2,52ba	2,82a		3,93a	4,06a	4,07a	
Média Porta-enxerto	2,66b				4,02a			
	S g kg ⁻¹							
Capacidade de container	1,81	1,81	1,58	1,73C	2,33	2,48	2,60	2,47C
Interrupção irrigação -15 kPa	1,98	1,94	2,23	2,05B	2,56	2,19	3,10	2,62B
Interrupção irrigação -25 kPa	2,62	1,89	2,89	2,47A	2,77	2,40	3,56	2,91A
Média	2,14a	1,88b	2,23a		2,55b	2,35c	3,09a	
Média Porta-enxerto	2,08b				2,66a			
	B mg kg ⁻¹							
Capacidade de container	36,3	36,0	40,0B	37,4A	49,7	50,3	48,7B	49,6A
Interrupção irrigação -15 kPa	40,7	38,0	48,7A	42,4A	48,0	49,0	58,0A	51,7A
Interrupção irrigação -25 kPa	42,3	34,3	46,3A	41,0A	47,3	47,3	58,7A	51,1A
Média	39,8b	36,1b	45,0a		48,3b	48,9b	55,1a	
Média Porta-enxerto	40,3b				50,8a			
	Fe mg kg ⁻¹							
Capacidade de container	82,7	78,0	88,0	82,9A	100,3	94,7	107,3	100,8B
Interrupção irrigação -15 kPa	87,0	80,0	80,0	82,3A	115,7	104,0	124,0	114,6A
Interrupção irrigação -25 kPa	84,7	84,7	85,7	85,0A	92,3	101,3	140,7	111,4A
Média	84,8a	80,9a	84,6a		102,8b	100,0b	124,0a	
Média Porta-enxerto	83,4b				108,9a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Tabela 43 - Concentração foliar de cobre, manganês e zinco de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do segundo fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Araras, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*			Média	Período de estresse			Média
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1		Fase 2	Fase 3		
	Cu mg kg ⁻¹							
Capacidade de container	12,7	9,3	14,2	12,1A	23,3	22,0	16,3	20,6A
Interrupção irrigação -15 kPa	13,0	11,7	15,3	13,3A	21,0	21,5	26,3	22,9A
Interrupção irrigação -25 kPa	13,3	11,7	12,3	12,4A	17,3	16,0	33,3	22,2A
Média	13,0a	10,9a	13,9a		20,6a	19,8a	25,3a	
Média Porta-enxerto		12,6b				21,9a		
	Mn mg kg ⁻¹							
Capacidade de container	35,7B	34,3B	41,7B	37,2B	40,0A	47,3A	40,8B	42,7B
Interrupção irrigação -15 kPa	38,0B	40,0A	41,0B	39,7B	45,3A	44,0A	52,3AB	47,2AB
Interrupção irrigação -25 kPa	60,5A	40,7A	61,0A	54,1A	43,8A	50,7A	54,8A	49,8A
Média	44,7ab	38,3b	47,9a		43,1b	47,3ab	49,3a	
Média Porta-enxerto		43,6b				46,6a		
	Zn mg kg ⁻¹							
Capacidade de container	18,3	17,7	19,7	18,6A	23,0	27,0	25,7	25,2A
Interrupção irrigação -15 kPa	18,3	21,3	20,0	19,9A	26,0	27,3	27,7	27,0A
Interrupção irrigação -25 kPa	21,0	20,7	19,0	20,2A	23,8	27,7	27,0	26,2A
Média	19,2a	19,9a	19,6a		24,3a	27,3a	26,8a	
Média Porta-enxerto		19,5b				26,1a		

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

Concentração foliar de clorofila

Folhas relativas ao 1º fluxo de crescimento, com seis meses de idade, apresentaram maiores valores para concentração foliar de clorofila do que as folhas mais jovens (três meses de idade), contudo já maduras e totalmente expandidas, relativas ao 2º fluxo (Tabela 44). Plantas sobre limão 'Cravo' apresentaram menor concentração foliar de clorofila 120 dias após a retirada de fitilho de enxertia, em quaisquer folhas, sendo que a amplitude foi maior para folhas mais jovens. Essas diferenças resultaram claramente dos menores teores de N observados nas folhas (Tabela 41) e da redução de nutrientes no substrato ao final do experimento. Contudo, essa tendência a menor concentração de clorofila e início de amarelecimento, não resultou em menor

aproveitamento comercial das mudas, indicando que o manejo nutricional adotado acarretou em desenvolvimento satisfatório até 150 dias após a enxertia.

Interrupção da irrigação a -25 kPa resultou em maiores concentrações foliares de clorofila, em folhas de ambas idades e em folhas do primeiro fluxo, respectivamente em plantas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ (Tabela 44). Maiores concentrações de clorofila a e b foram relatadas em folhas maduras, tenras e senescentes de mudas de laranja ‘Valência’ submetidas à deficiência hídrica, embora este comportamento não seja consistente para outras espécies cítricas (NORMAN; MAIER; PON, 1990).

Como o substrato em sacolas menos irrigadas manteve inicialmente maiores concentrações de nutrientes (Figuras 23 e 24), plantas sob este manejo podem ter se beneficiado, absorvendo e acumulando maiores quantidades de N. De fato, grande absorção de água após períodos de seca, e, conseqüentemente, maior absorção de nutrientes por fluxo de massa, é um dos mecanismos em plantas com maior adaptabilidade a este estresse (KOZLOWSKI; PALLARDY, 2002). Assim, o porta-enxerto limão ‘Cravo’ mais uma vez demonstraria maior adaptação ao período de seca mais intensa, pois apresentou maior ganho relativo em termos de coloração. Porém, como as plantas não submetidas a estresse tiveram maior crescimento de parte aérea, simplesmente pode ter ocorrido efeito de diluição de nutrientes, ou adequação entre as concentrações de N do substrato e a demanda pelas plantas.

Plantas cítricas com adequadas concentrações foliares de N apresentam maiores concentrações de clorofila e maiores taxas de fotossíntese (BONDADA; SYVERTSEN, 2005). Nutrição nitrogenada adequada pode reduzir os efeitos da seca em plantas (WU et al., 2008). Contudo, nesse experimento, plantas submetidas à deficiência hídrica e com maiores concentrações de N e clorofila, justamente realizaram menor fotossíntese, ao menos em períodos críticos sob interrupção da irrigação (Tabela 38). Assim, constata-se que a eficiência do aparato fotossintético depende de fatores muito além da quantidade absoluta de clorofila, e está vinculada a fatores influenciados pelo *status* hídrico do vegetal, como por exemplo integridade das membranas e dissipação de energia pelo ângulo de folhas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Tabela 44 - Concentração foliar de clorofila de folhas do primeiro e do segundo fluxos de crescimento, de mudas de laranja 'Valência' enxertadas sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fitilho da enxertia. Piracicaba, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão 'Cravo'				Citrumelo 'Swingle'			
	Período de estresse*				Período de estresse			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média
	Folhas relativas ao 1º fluxo de crescimento (6 meses de idade)							
	----- SPAD ⁽¹⁾ -----							
Capacidade de container	59,2	60,2	58,4	59,3B	69,9	66,0	66,8	67,6AB
Interrupção irrigação -15 kPa	58,1	59,8	60,7	59,6B	66,6	62,4	66,5	65,2B
Interrupção irrigação -25 kPa	66,2	59,1	72,8	66,0A	64,1	73,4	69,6	69,0A
Média	61,2ab	59,7b	64,0a		66,9a	67,3a	67,6a	
Média Porta-enxerto	61,6b				67,2a			
	Folhas relativas ao 2º fluxo de crescimento (3 meses de idade)							
	----- SPAD ⁽¹⁾ -----							
Capacidade de container	36,3	40,3	36,5	37,7B	53,9	55,4	53,6	54,3A
Interrupção irrigação -15 kPa	36,1	28,9	47,0	37,3B	45,9	40,0	59,6	48,5A
Interrupção irrigação -25 kPa	46,6	40,0	55,6	47,4A	52,9	47,0	58,3	52,7A
Média	39,7b	36,4b	46,4a		50,9ab	47,5b	57,2a	
Média Porta-enxerto	40,7b				51,8a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* Fase 1: 1º fluxo de crescimento (0 a 60 dias após a enxertia); Fase 2: 2º fluxo de crescimento (60 a 120 dias após a enxertia); Fase 3: 1º + 2º fluxos de crescimento.

(1) SPAD: índice absoluto "Soil Plant Analysis Development", que avalia quantitativamente a intensidade da cor verde da folha (GIRARDI; MOURÃO FILHO; PIEDADE, 2007).

Concentração foliar de prolina

A aplicação de ciclos de irrigação determinados pelo potencial hídrico do substrato de -25 kPa resultou em grande acúmulo de prolina em folhas do 2º fluxo de crescimento, 120 dias após a retirada do fitilho (Tabela 45). A espécie cítrica foi fator determinante da concentração de prolina, sendo que cada um apresentou um comportamento distinto em relação à dinâmica de acúmulo de prolina. De fato, as espécies cítricas são conhecidas por acumular grandes quantidades de prolina em função de deficiência hídrica, e cada espécie apresenta concentrações próprias deste aminoácido (NOLTE; HANSON; GAGE, 1997). Em situação de capacidade de container, porta-enxertos de citrumelo 'Swingle' apresentaram as maiores concentrações de prolina, seguidos por porta-enxertos de limão 'Cravo' (Tabela 45).

Em ensaios preparatórios deste experimento, sempre se observou maior concentração de prolina foliar no citrumelo 'Swingle' sob irrigação adequada. De fato, híbridos de *Poncirus trifoliata* como citrange 'Carrizo', embora sejam considerados porta-enxertos sensíveis à seca, apresentaram valores na faixa de $18 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF de prolina em folhas de *seedlings* não

transgênicos mantidos sob irrigação ótima (MOLINARI et al., 2004). A laranja ‘Valência’, independentemente do porta-enxerto, apresentou concentrações foliares bastante baixas quando mantida sob irrigação diária (Tabela 45). Ao final do período de estresse, neste caso 15 dias após a interrupção da irrigação, plantas de limão ‘Cravo’ não enxertadas acumularam a maior quantidade absoluta de prolina. Enquanto as demais espécies apresentaram uma redução de 50% na concentração de prolina apenas um dia após a irrigação de recuperação, o limão ‘Cravo’ manteve valores elevados do aminoácido em folhas maduras, um indicativo de sua grande capacidade de osmorregulação. No dia de máximo estresse, plantas de citrumelo ‘Swingle’ acumularam 50% mais prolina, enquanto a laranja ‘Valência’ apresentou concentrações 20 vezes maiores sobre os dois porta-enxertos.

O fato do porta-enxerto não ter influenciado o acúmulo de prolina nas folhas da variedade copa, apesar de sua maior ou menor capacidade inerente de acúmulo desse aminoácido em função da seca, sugere que os mecanismos de osmorregulação sejam determinados a nível de órgão, no caso folhas, sem existir translocação de fatores do sistema radicular para a parte aérea ou regulação indireta da expressão de genes na copa (JENSEN et al., 2003). Isto é um indicativo de que a tolerância à deficiência hídrica induzida pelo porta-enxerto seja resultante de outras propriedades fisiológicas do porta-enxerto, como as relações hídricas influenciadas pela interação da combinação usada (BARRY; CASTLE; DAVIES, 2004). Assim, o acúmulo de prolina pode não ser um caractere apropriado para programas de melhoramento de porta-enxertos para tolerância à deficiência hídrica. Trabalhos envolvendo transformação genética de porta-enxertos demonstram ser possível ampliar a capacidade de acúmulo de prolina dos citros (CARNEIRO et al., 2006; MOLINARI et al., 2004). No entanto, variedades copa provavelmente deveriam ser o alvo preferencial.

A capacidade de acúmulo de solutos compatíveis como a prolina ainda não pode ser considerada como um fator de ganho de eficiência da produtividade agrônômica de culturas, pois apesar de contribuir à tolerância à seca, esta se dá temporariamente, e sob condições de limitação hídrica do solo que por si só não permitem ganho de biomassa ou produção (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, plantas transgênicas de citros que acumulam mais prolina apresentam efeitos colaterais não desejáveis, como maior susceptibilidade a herbicidas (CARNEIRO et al., 2006).

Tabela 45 - Concentração foliar de prolina ($\mu\text{M g}^{-1}$ MF) em porta-enxertos de limão ‘Cravo’ e de citrumelo ‘Swingle’ em ponto de enxertia, e em mudas de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre os mesmos porta-enxertos, após o término do segundo fluxo de crescimento, 150 dias após a retirada de fitilho da enxertia, em função de diferentes intensidades de deficiência hídrica. Piracicaba, 2008

Porta-enxerto ou combinação copa/porta-enxerto	Deficiência hídrica			Média
	Capacidade de container (sem estresse)	Interrupção irrigação -25 kPa (dia de máximo estresse)	Interrupção irrigação -25 kPa (um dia após irrigação de recuperação)	
Limão ‘Cravo’	6,7Bb	51,6Aa	65,9Aa	42,0A
Citrumelo ‘Swingle’	14,4Ab	29,2Ba	17,2Bb	20,2B
Laranja ‘Valência’ sobre Limão ‘Cravo’	1,1Cc	19,4Ba	10,0Bb	8,7C
Laranja ‘Valência’ sobre Citrumelo ‘Swingle’	1,3Cc	22,6Ba	10,4Bb	11,4C
<i>Média</i>	<i>6,3b</i>	<i>30,0a</i>	<i>25,5a</i>	

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

Concentração de carboidratos

Ao final do 1º fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada do fitilho, a concentração de amido em mudas de citros variou com o órgão e com a intensidade da deficiência hídrica (Tabela 46). A interrupção da irrigação a -25 kPa reduziu as reservas de amido em todos os órgãos em ambos os porta-enxertos, a não ser por sistema radicular de plantas sobre citrumelo ‘Swingle’. O caule de enxerto foi o órgão vegetal com menor acúmulo de reservas, um indício para a maior redução das variáveis biométricas neste órgão, observada diante do estresse. Por outro lado, em plantas cítricas adultas, com caules mais desenvolvidos e com maior massa seca total, as reservas de amido podem ser significativas a ponto de ser a principal fonte de carboidratos durante limitações à fotossíntese (RAVEH et al., 2003). Nas mudas avaliadas neste experimento, durante o 1º fluxo de crescimento, folhas e raízes apresentaram grande quantidade de amido, e em níveis similares entre os porta-enxertos.

Tabela 46 - Concentração de amido (mg g^{-1} MS) em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Órgão		Órgão		Órgão		Órgão	
	Folha	Caule	Raiz	Média	Folha	Caule	Raiz	Média
	Concentração de amido ----- mg g^{-1} MS -----							
Capacidade de container	94,8 Aa	32,7 Ac	88,7 Bb	72,0 A	121,7Aa	35,3 Ac	76,8 Ab	77,9 A
Interrupção irrigação -15 kPa	90,9 Ab	30,8 Ac	101,6 Aa	74,4 A	98,8 Ba	35,3 Ac	56,6 Bb	63,5 AB
Interrupção irrigação -25 kPa	8,9 Bc	22,1 Bb	78,1 Ca	36,3 B	49,4 Cb	24,0 Bc	69,9 Aa	47,7B
<i>Média</i>	<i>64,8 b</i>	<i>28,5 c</i>	<i>89,4 a</i>		<i>89,9 a</i>	<i>31,5 c</i>	<i>67,7 b</i>	
<i>Média Porta-enxerto</i>	<i>60,9 a</i>				<i>63,0 a</i>			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

A deficiência hídrica foi determinante para o acúmulo (ou consumo) das reservas de amido, influenciando de maneira diferente cada órgão e porta-enxerto (Tabela 46). A folha foi o órgão mais intensamente afetado pela interrupção da irrigação a -25kPa, especialmente sobre limão ‘Cravo’ (Figura 28). As reservas em caule e raízes também foram deprimidas. Uma vez que a fotossíntese foi reduzida em função do estresse, durante o 1º fluxo de crescimento (Tabela 38), as reservas de carboidratos, na forma de amido, passam a ser metabolizadas, especialmente a partir dos cloroplastos das folhas, de maneira a garantir a sobrevivência da planta durante a restrição de água (TAIZ; ZEIGER, 2004). As concentrações absolutas de amido em raízes de limão ‘Cravo’ superaram às de citrumelo ‘Swingle’, além de existir maior matéria seca total de raízes naquele porta-enxerto (Tabela 31). Assim, plantas sobre ‘Cravo’ poderiam apresentar condições de maior mobilização de reservas suportando períodos mais prolongados de estiagem, como é observado em condições de campo. De fato, a preservação de um extenso sistema radicular mesmo sob déficit hídrico parece ser o mecanismo responsável pela maior tolerância à seca de laranjeiras sobre limão ‘Cravo’ (MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

Ao final do experimento, 120 dias após a retirada do fitilho, plantas sobre limão ‘Cravo’ acumularam maior quantidade de amido por grama de matéria seca em todos os órgãos (Tabela 47). Porta-enxertos de oito meses de idade referentes a genótipos vigorosos como limão

‘Volkameriano’ e laranja azeda apresentam maiores concentrações de amido em folhas, caule, raiz pivotante e radículas em relação a *Poncirus trifoliata* e seus híbridos citrumelo ‘Swingle’ e citange ‘Carrizo’ (GRAHAM; DUNCAN; EISSENSTAT, 1997). O sistema radicular, independentemente do porta-enxerto, foi o órgão com maior concentração de amido (Tabela 47), enquanto que folhas e caules mais velhos (seis meses de idade, inseridos no 1º fluxo de crescimento do enxerto) apresentaram maiores reservas deste carboidrato em relação aos mesmo órgãos mais jovens (três meses de idade, inseridos no 2º fluxo de crescimento do enxerto). Caule de enxerto continuou sendo órgão de menor importância quanto a acúmulo de amido. Considerando-se a matéria seca total da planta, a interrupção da irrigação a -15kPa foi menos deletéria às reservas de amido em relação à interrupção de irrigação a -25kPa, ambas durante todo o ciclo de 150 dias de produção (Fase 3) (Tabela 47). Contudo, o efeito do déficit hídrico, mesmo no nível de estresse mais intenso, parece ter sido momentâneo, uma vez que plantas submetidas a -25kPa durante a Fase 1 (1º fluxo de crescimento) mas com restauração da irrigação durante a Fase 2 (2º fluxo de crescimento) apresentaram grande incremento em suas reservas. Essas apenas foram superadas ou até se equivaleram às reservas de plantas mantidas sempre sob irrigação constante. O início de indução de deficiência hídrica somente a partir da metade do ciclo (Fase 2) já foi suficiente para diminuir significativamente as reservas de amido. Quanto mais prolongado o período de déficit hídrico, maior a redução das reservas também.

Novamente, folhas foram mais sensíveis à interrupção da irrigação, apresentando maior redução em suas reservas de amido (Tabela 47). Como esperado, órgãos mais jovens foram mais sensíveis ao déficit hídrico também (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996). Apesar da grande variação de concentração de amido em folhas, caule e raízes de citros, em função de manejo, condições ambientais e metodologia para análise química, os valores observados neste experimento são condizentes aos descritos anteriormente com diversas espécies cítricas em casa-de-vegetação ou em campo (ARBONA et al., 2005b; GRAHAM; DUNCAN; EISSENSTAT, 1997; LI; WEISS; GOLDSCHMIDT, 2003; MAGALHÃES FILHO et al., 2008; MATAA; TOMINAGA; KOZAKI, 1998; MEHOUACHI et al., 1995). As elevadas concentrações observadas em geral indicam que as condições de produção de mudas neste experimento resultam em material propagativo de citros com alta qualidade horticultural (CARNEIRO, 1995).

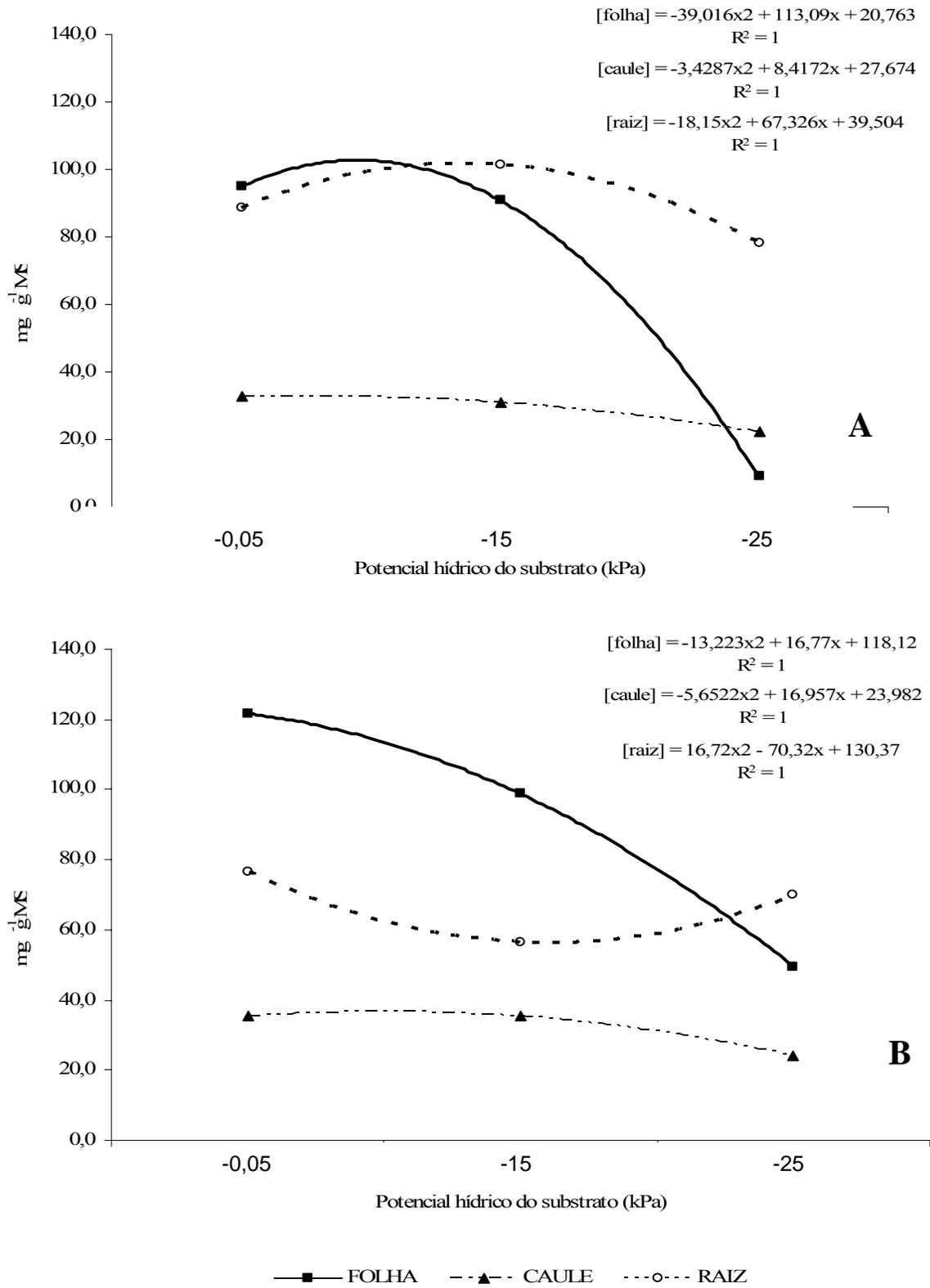


Figura 28 - Concentração de amido (mg g^{-1} MS) em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ (A) e citrumelo ‘Swingle’ (B) e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2007

Tabela 47 - Concentração de amido em folhas e caule de enxerto, referentes aos 1º e 2º fluxos de crescimento, e em sistema radicular de mudas de laranja 'Valência' enxertada sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 150 dias após a retirada de fitilho da enxertia. São Paulo, 2008

Tratamento	Concentração de amido em órgãos vegetais					
	Folhas 1º Fluxo	Folhas 2º Fluxo	Caule 1º Fluxo	Caule 2º Fluxo	Sistema Radicular	Média
----- Limão 'Cravo' ----- ----- mg g ⁻¹ MS -----						
Capacidade de container	172,5Ab	223,0Aa	34,4Cd	70,8Ac	177,6Ab	135,7A
Interrupção irrigação -15 kPa	50,2Bc	86,2Bb	36,4Cd	28,1Cd	122,9Ba	64,8C
Interrupção irrigação -25 kPa	4,0Cc	3,2Dc	13,3Db	3,4Dc	49,1Ca	14,6D
Capacidade de container durante 1º fluxo e interrupção irrigação a -25 kPa durante 2º fluxo	49,2Bb	18,6Cc	54,2Ab	28,1Cc	139,9Ba	58,0C
Interrupção irrigação a -25 kPa durante 1º fluxo e capacidade de container durante 2º fluxo	181,2Aa	83,7Bb	44,8Bc	39,9Bc	155,4ABa	101,0B
<i>Média</i>	<i>91,4b</i>	<i>82,9c</i>	<i>36,6d</i>	<i>34,1d</i>	<i>129,0a</i>	
Média do Porta-enxerto	74,8 A					
----- Citrumelo 'Swingle' ----- ----- mg g ⁻¹ MS -----						
Capacidade de container	78,0Ba	58,5Ab	27,6Cc	26,5Bc	87,6Ba	55,6B
Interrupção irrigação -15 kPa	90,7ABb	30,9Bc	34,7Bc	18,6Cd	110,1Aa	57,0B
Interrupção irrigação -25 kPa	14,5Dc	6,2Cd	26,3Cb	12,2Dc	62,1Ca	24,2D
Capacidade de container durante 1º fluxo e interrupção irrigação a -25 kPa durante 2º fluxo	40,1Cb	8,1Cc	46,0Ab	12,6Dc	101,0ABa	41,5C
Interrupção irrigação a -25 kPa durante 1º fluxo e capacidade de container durante 2º fluxo	106,7Aa	62,0Ac	37,6Bd	40,8Ad	85,7Bb	66,6A
<i>Média</i>	<i>66,0b</i>	<i>33,1c</i>	<i>34,4c</i>	<i>22,1d</i>	<i>89,3a</i>	
Média do Porta-enxerto	49,0 B					

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

As concentrações de açúcares redutores (glucose e frutose) e não-redutores (sacarose) observadas neste experimento (Tabelas 48 a 50) são similares às relatadas anteriormente em citros (ARBONA et al., 2005b; MAGALHÃES FILHO et al., 2008; VU; YELENOSKY, 1989). Plantas sobre limão ‘Cravo’ registraram maiores concentrações de açúcares solúveis desde 60 dias após a retirada do fitilho, a não ser pela concentração semelhante de frutose 120 dias após a retirada do fitilho. De maneira geral, glucose representou 15% dos carboidratos solúveis totais, frutose 10% e sacarose 75%. Durante o 1º fluxo de crescimento, as folhas foram os órgãos com maiores concentrações de carboidratos solúveis (Tabela 48). Desta forma, como o acúmulo de amido também foi elevado, este órgão supriria demanda por assimilados no crescimento inicial de mudas mais jovens no campo (RABE, 2000). Porém, ao final do 2º fluxo, com mudas mais desenvolvidas, os órgãos com maiores concentrações de sacarose foram, além das folhas novas, caules do 1º fluxo (seis meses de idade) e sistema radicular. Portanto, órgãos mais desenvolvidos seriam potenciais fontes de carboidratos às demais partes da planta. Glucose foi determinada em maiores quantidades nas folhas mais jovens do 2º fluxo (três meses de idade), enquanto frutose foi o açúcar redutor mais acumulado no caule, em especial no segmento proveniente do 2º fluxo de crescimento das plantas.

O efeito da deficiência hídrica foi controverso, com resultados distintos entre os dois fluxos de crescimento. Enquanto que 60 dias após a retirada do fitilho o déficit hídrico resultou em diminuição da concentração de açúcares redutores (Tabela 48), ao final do experimento a interrupção da irrigação levou a maiores concentrações desses carboidratos (Tabelas 49 e 50). Acúmulo de glucose e de frutose foi observado em folhas de laranja ‘Valência’ submetida à deficiência hídrica em condições de campo, enquanto houve redução de amido e sacarose (VU; YELENOSKY, 1989). Isto pode estar associado à maior disponibilização de substrato para a respiração em condições adversas de deficiência hídrica, além de possíveis efeitos de osmorregulação, já caracterizada para açúcares álcoois como sorbitol (TAIZ; ZEIGER, 2004). De fato, ao final do experimento, a relação fonte:dreno menor em plantas sob estresse mais intenso e prolongado indica transição para situação de dreno sob tal situação (Tabela 50).

Um período mais curto de produção das mudas sob interrupção da irrigação até -25 kPa resultou em menor variação das concentrações em geral, de modo que a restauração da irrigação durante o 2º fluxo de crescimento rapidamente levou à estabilização de açúcares redutores em concentrações similares às de plantas nunca submetidas a estresse (Tabelas 49 e 50). Isto está de

acordo com as observações realizadas para variáveis biométricas, de trocas gasosas e de potencial da água nas folhas. Por outro lado, a aplicação de estresse em plantas mantidas sob irrigação ótima durante o primeiro fluxo de crescimento culminou, no geral, em ampliação acentuada da concentração de açúcares redutores já no fluxo de crescimento seguinte. Finalmente, as concentrações de sacarose no sistema radicular não foram afetadas pela deficiência hídrica em plantas sobre limão ‘Cravo’, ao final do experimento (Tabela 50), sendo que, 60 dias antes, sua concentração foi na verdade ampliada neste órgão (Tabela 48). Este fenômeno pode estar relacionado ao mecanismo de tolerância à seca, similar ao observado para amido em raízes, que é menos sensível à deficiência hídrica temporária (Tabelas 46 e 47).

Tabela 48 - Concentração de glicose, de frutose e de sacarose, e relação fonte: dreno em folhas, caule de enxerto e raízes de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, após o término do primeiro fluxo de crescimento, 60 dias após a retirada de fítilho da enxertia. São Paulo, 2007

Deficiência hídrica	Porta-enxerto							
	Limão ‘Cravo’				Citrumelo ‘Swingle’			
	Órgão		Órgão		Órgão		Órgão	
Folha	Caule	Raiz	Média	Folha	Caule	Raiz	Média	
Glucose mg g ⁻¹ MS								
Capacidade de container	36,8	42,2	24,2	34,4A	19,5	10,0	16,6	15,4A
Interrupção irrigação -15 kPa	19,0	11,6	28,0	19,5B	24,8	21,3	8,6	18,3A
Interrupção irrigação -25 kPa	16,7	16,7	15,7	16,4B	9,5	9,9	9,1	9,5B
Média	24,2a	23,5ab	22,6b		17,9a	13,7ab	11,4b	
Média porta-enxerto	23,4a				14,4b			
Frutose mg g ⁻¹ MS								
Capacidade de container	18,0	14,1	7,0	13,0A	11,7	6,1	10,5	9,5A
Interrupção irrigação -15 kPa	9,6	4,1	8,4	7,4B	12,0	8,9	2,4	7,8B
Interrupção irrigação -25 kPa	12,3	15,5	10,8	12,9A	3,5	4,6	3,6	3,9C
Média	13,3a	11,2b	8,7c		9,1a	6,5b	5,5c	
Média porta-enxerto	11,1a				7,0b			
Sacarose mg g ⁻¹ MS								
Capacidade de container	131,1A	91,8A	27,4C	83,5A	165,4	81,3	99,1	115,3A
Interrupção irrigação -15 kPa	88,7B	85,2B	82,1B	85,4A	68,3	53,6	36,3	52,7B
Interrupção irrigação -25 kPa	100,7B	76,5C	97,0A	91,4A	78,9	55,8	47,0	60,6B
Média	106,9a	84,5b	68,9c		104,2a	63,6b	60,8b	
Média porta-enxerto	86,7a				76,2b			
Relação fonte: dreno								
Capacidade de container	2,4	1,6	0,9C	1,6B	5,4	5,1	3,7	4,7A
Interrupção irrigação -15 kPa	3,1	5,6	2,3B	3,7A	1,9	1,8	3,3	2,3B
Interrupção irrigação -25 kPa	3,5	2,4	3,7A	3,2A	6,1	3,9	3,7	4,6A
Média	3,0a	3,2a	2,3b		4,4a	3,6b	3,6b	
Média porta-enxerto	2,8b				3,9a			

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

Tabela 49 - Concentração de glicose e de frutose em folhas e caules de enxerto referentes ao 1º e ao 2º fluxo de crescimento e em raízes de mudas de laranja 'Valência' enxertada sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fítilho da enxertia. São Paulo, 2008

Deficiência hídrica*	Porta-enxerto											
	Limão 'Cravo'						Citrumelo 'Swingle'					
	Órgão				Raiz	Média	Órgão				Raiz	Média
	Folha 1º fluxo	Folha 2º fluxo	Caule 1º fluxo	Caule 2º fluxo			Folha 1º fluxo	Folha 2º fluxo	Caule 1º fluxo	Caule 2º fluxo		
Glucose ----- mg g ⁻¹ MS -----												
CC	15,9	15,8	10,8	11,4	11,5	13,1D	10,2	7,5	17,5	12,5	10,1	11,6C
I15	19,7	36,5	12,5	33,5	13,0	23,0C	10,7	8,8	10,8	10,4	13,1	10,7C
I25	35,8	23,6	28,0	43,3	19,5	30,0B	19,3	18,9	34,6	34,1	20,9	25,5B
CC + I25	16,0	178,6	15,0	11,3	20,7	48,3A	15,8	54,3	29,9	83,1	21,4	40,9A
I25 + CC	12,0	34,8	12,5	8,7	13,4	16,3D	12,9	15,1	17,0	12,1	8,2	12,1C
Média	19,8bc	57,8a	15,7c	21,6b	15,6c		13,8d	38,9a	21,9c	30,4b	14,7d	
Média PE	26,1a						24,0b					
Frutose ----- mg g ⁻¹ MS -----												
CC	11,2	13,3	9,7	14,8	10,2	11,8D	6,5	4,9	19,4	15,6	14,3	12,1C
I15	10,7	13,1	10,8	33,7	12,8	16,2C	6,7	6,4	13,5	16,9	17,0	12,1C
I25	30,7	16,8	44,0	51,5	28,3	34,3A	15,5	13,8	42,1	44,8	25,6	28,3B
CC + I25	13,1	36,6	17,6	12,3	24,0	20,7B	12,4	22,2	35,1	70,2	28,0	33,6A
I25 + CC	7,6	8,3	11,3	10,8	13,0	10,2D	8,5	7,3	16,6	16,9	9,1	11,7C
Média	14,7c	17,6bc	18,7b	24,6a	17,7bc		9,9d	10,9d	25,3b	32,9a	18,8c	
Média PE	18,6a						19,6a					

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

* CC = capacidade de campo em todo o ciclo (Fase 3); I15 = interrupção da irrigação até -15kPa durante Fase 3; I25 = interrupção da irrigação até -25kPa durante Fase 3; CC + I25 = capacidade de container durante 1º fluxo e interrupção irrigação até -25 kPa durante 2º fluxo; I25 + CC = interrupção irrigação até -25 kPa durante 1º fluxo e capacidade de container durante 2º fluxo; PE = porta-enxerto.

Tabela 50 - Concentração de sacarose e relação fonte: dreno em folhas e caules de enxerto referentes ao 1º e ao 2º fluxo de crescimento e em raízes de mudas de laranja 'Valência' enxertada sobre limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle', e conduzidas sob diferentes intensidades de deficiência hídrica, 120 dias após a retirada de fítilho da enxertia. São Paulo, 2008

Deficiência hídrica*	Porta-enxerto											
	Limão 'Cravo'						Citrumelo 'Swingle'					
	Órgão						Órgão					
	Folha 1º fluxo	Folha 2º fluxo	Caule 1º fluxo	Caule 2º fluxo	Raiz	Média	Folha 1º fluxo	Folha 2º fluxo	Caule 1º fluxo	Caule 2º fluxo	Raiz	Média
	Sacarose ----- mg g ⁻¹ MS -----											
CC	202,1	101,5	91,0	120,4	90,8	121,2A	80,2	82,4	79,6	105,1	95,9	88,7B
I15	211,7	74,6	87,6	99,9	81,7	111,1B	79,9	85,2	70,3	109,4	100,1	89,0B
I25	166,1	82,4	105,2	126,9	91,5	114,4B	104,1	56,3	93,9	108,6	104,5	93,5AB
CC + I25	127,9	50,1	109,6	105,6	94,2	97,5C	101,7	52,8	106,1	122,3	102,0	97,0A
I25 + CC	128,6	88,2	91,4	108,1	90,7	101,4C	104,9	84,0	95,4	117,6	88,4	98,1A
Média	167,3a	79,4e	97,0c	112,2b	89,8d		94,2bc	72,1d	89,1c	112,6a	98,2b	
Média PE	109,1a						93,2b					
	Relação fonte: dreno -----											
CC	7,6	3,5	4,5	4,6	4,2	4,9A	4,8	6,6	2,2	3,8	3,9	4,3A
I15	7,0	1,5	3,8	1,5	3,2	3,4B	4,6	5,6	2,9	4,0	3,3	4,1A
I25	2,5	2,1	1,5	1,3	1,9	1,9D	3,0	1,7	1,2	1,4	2,2	1,9C
CC + I25	4,4	0,2	3,4	4,5	2,1	2,9C	3,6	0,7	1,6	0,8	2,1	1,8C
I25 + CC	6,6	3,8	3,8	5,6	3,4	4,6A	4,9	0,7	2,8	4,1	5,1	3,5B
Média	5,6a	2,2d	3,4b	3,5b	3,0c		4,2a	3,1c	2,2e	2,8d	3,3b	
Média PE	3,5a						3,1b					

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas diferentes, respectivamente em colunas e linhas, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

* CC = capacidade de campo em todo o ciclo (Fase 3); I15 = interrupção da irrigação até -15kPa durante Fase 3; I25 = interrupção da irrigação até -25kPa durante Fase 3; CC + I25 = capacidade de container durante 1º fluxo e interrupção irrigação até -25 kPa durante 2º fluxo; I25 + CC = interrupção irrigação até -25 kPa durante 1º fluxo e capacidade de container durante 2º fluxo; PE = porta-enxerto.

3 CONCLUSÕES

- 1) Mudanças de laranja ‘Valência’ enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ apresentam crescimento vegetativo e características fisiológicas distintas, sendo que maior vigor é induzido por aquele porta-enxerto tanto sob capacidade de container quanto sob deficiência hídrica.
- 2) O emprego de polietileno glicol como osmólito em estudos para indução de deficiência hídrica *in vivo* não é indicado para citros em vasos, uma vez que este material acarreta em fitotoxidez e efeitos fisiológicos distintos daqueles apresentados por plantas submetidas a estresse por interrupção da irrigação.
- 3) Mudanças de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’ são afetadas pela interrupção da irrigação após a retirada do fitilho de enxertia, especialmente entre o final do 1º fluxo de crescimento e a maturação do 2º fluxo de crescimento. Quanto mais extenso for o período sob déficit hídrico, maiores são os prejuízos ao crescimento, desempenho fisiológico e aproveitamento comercial das mudas.
- 4) A interrupção da irrigação até que o potencial hídrico do substrato a base de casca de pinus seja de -15kPa, embora reduza o valor de algumas variáveis de crescimento, permite a produção satisfatória de mudas de laranja ‘Valência’ sobre limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, independentemente do período em que ocorra a deficiência hídrica.
- 5) A interrupção da irrigação até que o potencial hídrico do substrato a base de casca de pinus atinja -25kPa reduz expressivamente o valor horticultural das mudas de citros, e não deve ser adotado como parâmetro para o manejo da irrigação.
- 6) Sugere-se que, considerando-se as variáveis climáticas no período e o uso de substrato a base de casca de pinus, seja adotado um turno de rega compreendido entre 2 e 5 dias, desde que a capacidade de container seja re-estabelecida na irrigação de restauração.
- 7) O maior tamanho e aclimação morfofisiológica das plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ e submetidas à interrupção da irrigação sugerem a maior adaptação deste porta-enxerto à deficiência hídrica. Contudo, em se tratando de cultivo em recipientes, essas plantas sofreram maior redução relativa em seu crescimento em função do estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

AHMAD, M.S.A.; JAVED, F.; ASHRAF, M. Iso-osmotic effect of NaCl and PEG on growth, cations and free proline accumulation in callus tissue of two indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 53, n. 1, p. 53-63, 2007.

ALI, Q.; ASHRAF, M.; SHAHBAZ, M.; HUMERA, H. Ameliorating effect of foliar applied proline on nutrient uptake in water stressed maize (*Zea mays* L.) plants. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 40, n. 1, p. 211-219, 2008.

AMARAL, L.I.V.; GASPAR, M.; COSTA, P.M.F.; AIDAR, M.P.M.; BUCKERIDGE, M.S. Novo método enzimático e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. **Hoehnea**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 425-431, 2007.

ANJUM, M.A. Effect of NaCl concentrations in irrigation water on growth and polyamine metabolism in two citrus rootstocks with different levels of salinity tolerance. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 30, p. 43-52, 2008.

ARBONA, V.; IGLESIAS, D.J.; JACAS, J.; PRIMO-MILLO, E.; TALÓN, M.; GOMEZ-CADENAS, A. Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 270, n. 1/2, p. 73-82, 2005a.

ARBONA, V.; MARCO, A.J.; IGLESIAS, D.J.; LÓPEZ-CLIMENT, M.F.; TALON, M.; GÓMEZ-CADENAS, A. Carbohydrate depletion in roots and leaves of salt-stressed potted *Citrus clementina* L. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 46, p. 153-160, 2005b.

ARGO, W.R. Transplant production and performance: media physical properties. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON STAND ESTABLISHMENT, 5., 1997, Columbus. **Proceedings...** Columbus: Ohio State University, 1997. p. 11-14.

BACELAR, E.A.; SANTOS, D.L.; MOUTINHO-PEREIRA, J.M.; GONCALVES, B.C.; FERREIRA, H.F.; CORREIA, C.M. Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. **Plant Science**, Shannon, v. 170, p. 596-605, 2006.

BALIBREA, M.E.; PARRA, M.; BOLARÍN, M.C.; PÉREZ-ALFOCEA, F. PEG-osmotic treatment in tomato seedlings induces salt-adaptation in adult plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 26, p. 781-786, 1999.

BARBANTI, L.; MONTI, A.; VENTURI, G. Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in leaves of different ages of sugar beet (*Beta vulgaris*) at variable water regimes. **Annals of Applied Biology**, Oxford, v. 150, n. 2, p. 197-205, 2007.

BARRY, G.H.; CASTLE, W.S.; DAVIES, F.S. Rootstocks and plant water relations affect sugar accumulation of citrus fruit via osmotic adjustment. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 129, n. 6, p. 881-889, 2004.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; FERRAREZI, R.S.; MEDINA, C.L. **Padrão nutricional de mudas de citros**. Araraquara: Vivecitrus; Conplant, 2008. 40 p.

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 205-207, 1973.

BEESON, R.C. Determining plant-available water of woody ornamentals in containers *in situ* during production. **HortScience**, Alexandria, v. 42, n. 7, p. 1700-1704, dec 2007.

BERNARDI, A.C.C; CARMELLO, Q.A.C.; CARVALHO, S.A. Development of citrus nursery trees grown in pots in response to NPK fertilization. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 733-738, 2000.

BOAVENTURA, P.S.; QUAGGIO, J.A.; ABREU, M.F.; BATAGLIA, O.C. Balanço de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 300-305, 2004.

BONDADA, B.R.; SYVERTSEN, J.P. Concurrent changes in net CO₂ assimilation and chloroplast ultrastructure in nitrogen deficient citrus leaves. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 54, p. 41-48, 2005.

BOVÉ, J.M.; AYRES, A.J. Etiology of three recent diseases of citrus in Sao Paulo State: Sudden death, variegated chlorosis and huanglongbing. **IUBMB Life**, Oxford, v. 59, p. 346-354, 2007.

BRAVDO, B.A.; LEVIN, I.; ASSAF, R. Control of root size and root environment of fruit trees for optimal fruit production. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 15, n. 6/7, p. 699-712, 1992.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. **Sistema Irrigás para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimento**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005. 162 p.

CARNEIRO, C.E.A.; MOLINARI, H.B.C.; ANDRADE, G.A.; PEREIRA, L.F.P.; VIEIRA, L.G.E. Produção de prolina e suscetibilidade ao glufosinato de amônio em plantas transgênicas de citrumelo 'Swingle'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 747-753, 2006.

CARNEIRO, J.G.A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR; FUPEF; Campos: UENF, 1995. 451 p.

CARVALHO, S.A.; GRAF, C.C.D.; VIOLANTE, A.R. Produção de material básico e propagação. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, P. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas; Fundag, 2005. p. 281-316.

CASTLE, W.S. Root system development in field- and container-grown young citrus trees. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Society**, Gainesville, v. 100, p. 85-89, 1987.

COORDENADORIA DE DEFESA VEGETAL. Disponível em: <<http://www.cda.sp.gov.br>>. Acesso em: 25 jul. 2008.

COSTA, J.M.; ORTUÑO, M.F.; CHAVES, M.M. Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. **Journal of Integrative Plant Biology**, Oxford, v. 49, n. 10, p. 1421-1434, 2007.

DELEGACIA FEDERAL DA AGRICULTURA. Disponível em: <<http://www.dfasp.gov.br>>. Acesso em: 25 jul. 2008.

DIONEX CORPORATION. **Analysis of carbohydrates by high performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection (HPAE-PAD)**. Sunnyvale, CA: Dionex Corporation, 2000. 14p. (Technical Note 20. LPN 032857-04 5M 6/00). Disponível em: <<http://www.dionex.com>>. Acesso em: 15 maio 2008.

DONATO, S.L.R.; PEREIRA, C.S.; BARROS, Z.J.; SIQUEIRA, D.L.; SALOMÃO, L.C.C. Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxerto de citros à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1507-1510, 2007.

DUBOIS, M; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington DC, v. 28, p. 350-356, 1956.

EISSENSTAT, D.M.; WHALEY, E.L.; VOLDER, A.; WELLS, C.E. Recovery of citrus surface roots following prolonged exposure to dry soil. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, UK, v. 50, n. 341, p. 1845-1854, 1999.

ERICKSON, L.C. The general physiology of citrus. In: REUTHER, W.; WEBBER, H.J.; BATCHELOR, L.D. **The Citrus Industry**. Riverside: University of California, 1968. v. 2, p. 86-126.

ERISMANN, N.M.; MACHADO, E.C.; TUCCI, M.L.S.A. Photosynthetic limitation by CO₂ diffusion in drought stressed orange leaves on three rootstocks. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 96, p. 163-172, 2008.

ESPELETA, J.F.; EISSENSTAT, D.M. Responses of citrus fine roots to localized soil drying: a comparison of seedlings with adult fruiting trees. **Tree Physiology**, Victoria, v. 18, n. 2, p. 113-119, 1998.

FALTENOVICH, S.; WELBAUM, G.E. Controlling vegetable transplant height using osmotically active compounds. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 782, p. 293-298, 2008.

FELD, S.J.; MENGE, J.A.; STOLZY, L.H. Influence of drip and furrow irrigation on *Phytophthora* root-rot of citrus under field and greenhouse conditions. **Plant Disease**, St. Paul, v. 74, n. 1, p. 21-27, 1990.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO **Agriannual 2004**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Editora FNP, 2004. p. 250-253.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO **Agriannual 2008**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Editora FNP, 2008. 502 p.

FUNDECITRUS. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br>>. Acesso em: 15 jun. 2008.

GARCIA, A.L.; MARCELIS, L.; GARCIA-SÁNCHEZ, F.; NICOLAS, N.; MARTINEZ, V. Moderate water stress affects tomato leaf water relations in dependence on the nitrogen supply. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v. 51, n. 4, p. 707-712, 2007.

GARCIA-SÁNCHEZ, F.; SYVERTSEN, J.P.; GIMENO, V.; BOTÍA, P.; PEREZ-PEREZ, J.G. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 130, p. 532-542, 2007.

GEERTS, S.; RAES, D.; GARCIA, M.; CONDORI, O.; MAMANI, J.; MIRANDA, R.; CUSICANQUI, J.; TABOADA, C.; YUCRA, E.; VACHER, J. Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Southern Bolivian Altiplano? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, p. 909-917, 2008.

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

GIRARDI, E.A.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; PIEDADE, S.M.S. Desenvolvimento vegetativo e custo de produção de porta-enxertos de citros em recipientes para fins de subenxertia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 679-687, 2007.

GIRARDI, E.A.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; GRAF, C.C.D.; OLIC, F.B. Influence of soluble and slow-release fertilizers on vegetative growth of containerized citrus nursery trees. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 28, p. 1465-1480, 2005.

GRAHAM, J.H.; DUNCAN, L.W.; EISSENSTAT, D.M. Carbohydrate allocation patterns in citrus genotypes as affected by phosphorus nutrition, mycorrhizal colonization and mycorrhizal dependency. **New Phytologist**, Oxford, UK, v. 135, p. 335-343, 1997.

GRASER, E.A.; ALLEN, L.H. Water relations of 7-year-old containerized citrus trees under drought and flooding stress. **Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida**, Gainesville, v. 47, p. 165-174, 1988.

GUNES, A.; INAL, A.; ADAK, M.S.; ALPASLAN, M.; BAGCI, E.G.; EROL, T.; PILBEAM, D.J. Mineral nutrition of wheat, chickpea and lentil as affected by mixed cropping and soil moisture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 78, n. 1, p. 83-96, 2007.

GUO, S.W.; CHEN, G.; ZHOU, Y.; SHEN, Q.R. Ammonium nutrition increases photosynthesis rate under water stress at early development stage of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 296, n. 1/2, p. 115-124, 2007.

HANLON, E.A.; OBREZA, T.A.; ALVA, A.K. Tissue and Soil Analysis. In: Tucker, D.P.H.; Alva, A.K.; Jackson, L.K. Wheaton, T.A. **Nutrition of Florida Citrus Trees**. Gainesville: University of Florida, 1995. p. 13-16. (Bulletin N. SP169).

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES JUNIOR., F.T.; GENEVE, R.L. **Plant propagation: principles and practices**. 7th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 880 p.

HOCKEMA, B.R.; ETXEBERRIA, E. Metabolic contributors to drought-enhanced accumulation of sugars and acids in oranges. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, n. 5, p. 599-605, 2001.

HODGSON, R.W. Horticultural varieties of citrus. In: REUTHER, W.; WEBBER, H.J.; BATCHELOR, L.D. **The Citrus Industry**. Riverside: University of California, 1967. v. 1, p. 431-591.

IGLESIAS, D.J.; LLISO, I.; TADEO, F.R.; TALON, M. Regulation of photosynthesis through source: sink imbalance in citrus is mediated by carbohydrate content in leaves. **Physiologia Plantarum**, Dordrecht, v. 116, p. 563-572, 2002.

JENSEN, P.J.; RYTTER, J.; DETWILER, E.A.; TRAVIS, J.W.; MCNELLIS, T.W. Rootstock effects on gene expression patterns in apple tree scions. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 53, n. 4, p. 493-511, 2003.

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

KAUFMANN, M. Evaluation of the pressure chamber method for measurement of water stress in citrus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 93, p. 186-198, 1968.

KELLER, M. Deficit irrigation and vine mineral nutrition. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 56, n. 3, p. 267-283, 2005.

KIMBALL, B.A.; IDSO, S.B.; JOHNSON, S.; RILLIG, M.C. Seventeen years of carbon dioxide enrichment of sour orange trees: final results. **Global Change Biology**, Oxford, UK, v. 13, p. 2171-2183, 2007.

KITAO, M.; LEI, T.T.; KOIKE, T.; KAYAMA, M.; TOBITA, H.; MARUYAMA, Y. Interaction of drought and elevated CO₂ concentration on photosynthetic down-regulation and susceptibility to photoinhibition in Japanese white birch seedlings grown with limited N availability. **Tree Physiology**, Victoria, v. 27, n. 5, p. 727-735, 2007.

KOCHEVA, K.V.; GEORGIEV, G.I. Changes in foliar proline concentration of osmotically stressed barley. **Zeitschrift fuer Naturforschung. Section C: A Journal of Biosciences**, Tuebingen, v. 63, n. 1/2, p. 101-104, 2008.

KOCHEVA, K.V.; GEORGIEV, G.I.; VUNKOVA-RADEVA, R.V. Contribution of mineral nutrition to the response of barley seedlings to polyethylene glycol-induced mild water stress. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 170, n. 3, p. 392-397, 2007.

KOSHITA, Y.; TAKAHARA, T. Effect of water stress on flower-bud formation and plant hormone content of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 99, n. 3/4, p. 301-307, 2004.

KOSOLA, K.R.; EISSENSTAT, D.M. The fate of surface roots of citrus seedlings in dry soil. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, UK, v. 45, p. 1639-1645, 1994.

KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. **The Botanical Review**, New York, v. 68, n. 2, p. 270-334, 2002.

KRUGER, E.L.; VOLIN, J.C. Reexamining the empirical relation between plant growth and leaf photosynthesis. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 33, p. 421-429, 2006.

KUMIKO, O.; TORU, M. Alleviation of salinity damage to rice plants by the use of polyethylene glycols (PEGs) through reduction of Na⁺ transport to shoots. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, n. 1, p. 129-133, 2004.

KUSAKABE, A.; MELGA, J.C.; DUNLOP, J.; SYVERTSEN, J.P. Partial root zone drying with and without salinity affects water use efficiency of citrus. **HortScience**, Alexandria, v. 43, n. 4, p. 1130, 2008.

LAWLOR, D.W. Absorption of polyethylene glycols by plants and their effects on plant growth. **New Phytologist**, Oxford, v. 69, p. 501-513, 1970.

LEVY, Y.; SYVERTSEN, J.P. Effect of drought stress and vesicular-arbuscular mycorrhiza on citrus transpiration and hydraulic conductivity of roots. **New Phytologist**, Oxford, v. 93, p. 61-66, 1983.

LI, C.Y.; WEISS, D.; GOLDSCHMIDT, E.E. Girdling affects carbohydrate-related gene expression in leaves, bark and roots of alternate-bearing citrus trees. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, p. 137-143, 2003.

LIPTAY, A.; SIKKEMA, P.; FONTENO, W. Transplant production and performance: transplant growth control through water stress. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON STAND ESTABLISHMENT, 5, 1997, Columbus. **Proceedings...** Columbus: Ohio State University, 1997. p. 51-53.

MACHADO, E.C.; SCHMIDT, P.T.; MEDINA, C.L.; RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MAGALHAES FILHO, J.R.; AMARAL, L.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008.

MAHOUACHI, J.; GÓMEZ-CADENAS, A.; PRIMO-MILLO, E.; TALÓN, M. Antagonistic changes between abscisic acid and gibberellins in citrus fruits subjected to a series of different water conditions. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 24, n. 3, p. 179-187, 2005.

MAHOUACHI, J.; SERNA, D.; ZARAGOZA, S.; AGUSTI, M.; TALON, M.; PRIMO-MILLO, E. Defoliation increases fruit abscission and reduces carbohydrate levels in developing fruits and woody tissues of *Citrus unshiu*. **Plant Science**, Limerick, v. 107, p. 189-197, 1995.

MATAA, M.; TOMINAGA, S.; KOZAKI, I. The effect of time of girdling on carbohydrate contents and fruiting in Ponkan mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 73, p. 203-211, 1998.

MEDINA, C.L. **Trocas gasosas e relações hídricas de laranjeira ‘Valência’ enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica**. 1997. 79 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; PINTO, J.M. Photosynthesis of ‘Valência’ orange tree grafted on four rootstocks and submitted to water deficit. **Bragantia**, Campinas, v. 57, p. 1-14, 1998.

MEDINA, C.L.; SOUZA, R.P.; MACHADO, E.C.; RIBEIRO, R.V.; SILVA, J.A.B. Photosynthetic response of citrus grown under aluminized polypropylene shading nets. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 96, p. 115-125, 2002.

MEDINA, C.L.; RENA, A.B.; SIQUEIRA, D.L.; MACHADO, E.C. Fisiologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, P. **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas; Fundag, 2005. p. 149-195.

MELGA, J.C.; DUNLOP, J.; SYVERTSEN, J.P. Effects of partial root zone drying and regulated deficit irrigation on seedlings of the citrus rootstock Swingle citrumelo. **HortScience**, Alexandria, v. 43, n. 4, p. 1111, 2008.

MELO, R.F.; GRUBER, Y.B.G.; COELHO, R.D. Efeito do armazenamento das amostras para determinação do potencial da água na folha pela câmara de pressão. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 326-337, 2007.

MICHEL, B.E.; KAUFMANN, M.R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiology**, Rockville, v. 51, p. 914-916, 1973.

MILNER, L. Manejo de irrigação e fertirrigação em substratos. In: FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; ABREU, M.F.; ABREU, C.A.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; MINAMI, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. p. 45-51. (IAC. Documentos, 70).

MOLINARI, H.B.C.; MARUR, C.J.; BESPALHOK, J.C.; KOBAYASHI, A.K.; PILEGGI, M.; LEITE, R.P.; PEREIRA, L.F.P.; VIEIRA, L.G.E. Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. x *Poncirus trifoliata* L. Raf.) overproducing proline. **Plant Science**, Shannon, v. 167, n. 6, p. 1375-1381, 2004.

MOURÃO FILHO, F.A.A.; SALVO, J.G.; MACHADO, C.C.; COELHO, R.D.; PIEDADE, S.M.S.; GRAF, C.C.D. Desenvolvimento vegetativo do limão 'Cravo' em função do volume de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 471-480, 2007.

MOYA, J.L.; GÓMEZ-CADENAS, A.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Chloride absorption in salt-sensitive 'Carrizo' citrange and salt-tolerant 'Cleopatra' mandarin citrus rootstocks is linked to water use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 383, p. 825-833, 2003.

MOYA, J.L.; TADEO, F.R.; GÓMEZ-CADENAS, A.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Transmissible salt tolerance traits identified through reciprocal grafts between sensitive 'Carrizo' and tolerant 'Cleopatra' citrus genotypes. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 159, n. 9, p. 991-998, 2002.

NEVES, M.F.; LOPES, F.F. **Estratégias para a laranja no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2005. 225 p.

NEVES, M.F.; LOPES, F.F.; TROMBIN, V.G.; AMARO, A.A.; NEVES, E.M.; JANK, M.S. **Caminhos para a Citricultura: uma agenda para manter a liderança mundial**. São Paulo: Atlas, 2007. 110 p.

NOLTE, K.D.; HANSON, A.D.; GAGE, D.A. Proline accumulation and methylation to proline betaine in *Citrus*: implications for genetic engineering of stress resistance. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 122, n. 1, p. 8-13, 1997.

NORMAN, S.M.; MAIER, V.P.; PON, D.L. Abscisic acid accumulation and carotenoid and chlorophyll content in relation to water stress and leaf age of different types of citrus. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington DC, v. 38, n. 6, p. 1326-1334, 1990.

OLIC, F.B.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; GRAF, C.C.D.; GIRARDI, E.A.; SALVO, J.G.; COELHO, R.D. Vegetative growth of containerized citrus nursery trees subjected to five levels of irrigation. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CITRUS NURSERYMEN, 6., 2001, Ribeirão Preto. **Proceedings...** Ribeirão Preto: International Society of Citrus Nurserymen, 2001. p. 131-134.

ORTUÑO, M.F.; ALARCON, J.J.; NICOLAS, E.; TORRECILLAS, A. Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. **Plant Science**, Shannon, v. 167, n. 2, p. 275-280, 2004.

_____. Sap flow and trunk diameter fluctuations of young lemon trees under water stress and rewatering. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 54, n. 2, p. 155-162, 2005.

ORTUÑO, M.F.; GARCÍA-ORELANA, Y.; CONEJERO, W.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; ALARCÓN, J.J.; TORRECILLAS, A. Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. **Trees: structure and function**, Heidelberg, v. 8, p. 1-8, 2006.

OUMA, G. Root confinement and irrigation frequency affect growth of rough lemon (*Citrus limon*) seedlings. **Fruits**, Montpellier, v. 60, n. 3, p. 195-202, 2005.

PALLARDY, S.G. **Physiology of woody plants**. 3rd ed. London: Elsevier, 2008. 454 p.

PAPADAKIS, I.E.; GIANNAKOULA, A.; ANTONOPOULOU, C.P.; MOUSTAKAS, M.; AVRAMAKI, E.; THERIOS, I.N. Photosystem 2 activity of *Citrus volkameriana* (L.) leaves as affected by Mn nutrition and irradiance. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 45, n. 2, p. 208-213, 2007.

PÉREZ-PÉREZ, J.G.; ROMERO, P.; NAVARRO, J.M.; BOTIA, P. Response of sweet orange cv. 'Lane Late' to deficit irrigation in two rootstocks. I: water relations, leaf gas exchange and vegetative growth. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 26, n. 5, p. 415-425, 2008.

PÉREZ-PÉREZ, J.G.; SYVERTSEN, J.P.; BOTÍA, P.; GARCIA-SÁNCHEZ, F.G. Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized Carrizo citrange seedlings during drought stress and recovery. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, p. 335-345, 2007.

PIMENTEL, C.; BERNACCHI, C.; LONG, S. Limitations to photosynthesis at different temperatures in the leaves of *Citrus limon*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 141-147, 2007.

PIO, R.M.; FIGUEIREDO, J.O.; STUCHI, E.S.; CARDOSO, S.A.B. Variedades copas. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, P. **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas; Fundag, 2005. p. 39-60.

POMPEU JUNIOR, P. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, P. **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas; Fundag, 2005. p. 63-104.

POZZAN, M.; KANASHIRO, M. Custo de muda cítrica em viveiro telado. In: FNP. **AGRIANUAL 2004**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2004. p. 250-253.

QUAGGIO, J.A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; STUCHI, E.S.; SEMPIONATO, O.R. Sweet orange trees grafted on selected rootstocks fertilized with nitrogen, phosphorous and potassium. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 55-60, 2004

RABE, E. Citrus canopy management: effect of nursery tree quality, trellising and spacing on growth and initial yields. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 515, p. 273-279, 2000.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Campinas: Ceres; Potafós, 1991. 344 p.

RAVEH, E.; COHEN, S.; RAZ, T.; YAKIR, D.; GRAVA, A.; GOLDSCHMIDT, E.E. Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 381, p. 365-373, 2003.

RAVIV, M.; LIETH, J.H. **Soilless culture**: theory and practice. London: Elsevier, 2008. 587 p.

RIBEIRO, R.V. **Variação sazonal da fotossíntese e relações hídricas em laranjeira 'Valência'**. 2006. 158 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ROMERO, P.; NAVARRO, J.M.; PEREZ-PEREZ, J.; GARCIA-SÁNCHEZ, F.; GOMEZ-GOMEZ, A.; PORRAS, I.; MARTINEZ, V.; BOTÍA, P. Deficit irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral nutrition of 'Clemenules' mandarin. **Tree Physiology**, Victoria, v. 26, n. 12, p. 1537-1548, 2006.

- RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; DOMINGO, R.; SAVÉ, R.; BIEL, C.; TORRECILLAS, A. Effects of water stress and rewatering on leaf water relations of lemon plants. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v. 39, n. 4, p. 623-631, 1997.
- SAVÉ, R.; BIEL, C.; DOMINGO, R.; RUIZ-SANCHEZ, M.C.; TORRECILLAS, A. Some physiological and morphological-characteristics of citrus plants for drought resistance. **Plant Science**, Limerick, v. 110, n. 2, p. 167-172, 1995.
- SHAO, H.B.; CHU, L.Y.; JALEEL, C.A.; ZHAO, C.X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.
- SILVA, C.R. da; FOLEGATTI, M.V.; SILVA, T.J.A. da; ALVES JUNIOR, J.; SOUZA C.F.; RIBEIRO, R.V. Water relations and photosynthesis as criteria for adequate irrigation management in 'Tahiti' lime trees. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 415-422, 2005.
- SOARES, T.M. **Desenvolvimento de três porta-enxertos cítricos utilizando águas salinas**. 2003. 94 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- SORGONÀ, A.; ABENAVOLI, M.R.; GRINGERI, P.G.; LUPINI, A.; CACCO, G. Root Architecture plasticity of citrus rootstocks in response to nitrate availability. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 30, p. 1921-1932, 2007.
- SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of Horticultural Crops: Biology of Citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 230 p.
- STEUTER, A.A.; MOZAFAR, A.; GOODIN, J.R. Water potential of aqueous polyethylene glycol. **Plant Physiology**, Rockville, v. 67, p. 64-67, 1981.
- SULISTYOWATI, L.; KEANE, P.J. Effect of soil-salinity and water-content on stem rot caused by *Phytophthora citrophthora* and accumulation of phytoalexin in *Citrus* rootstocks. **Phytopathology**, St. Paul, v. 82, n. 7, p. 771-777, 1992.
- SYVERTSEN, J.P.; LLOYD, J.; KRIEDEMANN, P.E. Salinity and drought stress effects on foliar ion concentration, water relations, and photosynthetic characteristics of orchard citrus. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 39, p. 619-627, 1988.

TAIZ, L.; ZEGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Tradução de SANTARÉM, E.R. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAVEIRA, J.A.M. Growing media utilization in containerized citrus tree production. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CITRUS NURSERYMEN, 6., 2001. Ribeirão Preto. **Proceedings...** Ribeirão Preto: International Society of Citrus Nurserymen, 2001. p. 89-92.

TRUBAT, R.; CORTINA, J.; VILAGROSA, A. Plant morphology and root hydraulics are altered by nutrient deficiency in *Pistacia lentiscus* (L.). **Trees: structure and function**, Heidelberg, v. 20, n. 3, p. 334-339, 2006.

VU, J.C.V.; YELENOSKY, G. Water deficit and associated changes in some photosynthetic parameters in leaves of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck). **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, p. 375-378, 1988.

VU, J.C.V.; YELENOSKY, G. Non-structural carbohydrate concentrations in leaves of 'Valencia' orange subjected to water deficits. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 149-154, 1989.

VU, J.C.V.; NEWMAN, Y.C.; ALLEN JR, L.H.; GALLO-MEAGHER, M.; ZHANG, M.Q. Photosynthetic acclimation of young sweet orange trees to elevated growth CO₂ and temperature. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 159, p. 147-157, 2002.

WU, F.Z.; BAO, W.K.; LI, F.L.; WU, N. Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of *Sophora davidii* seedlings. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 46, n. 1, p. 40-48, 2008.

YELENOSKY, G.; GUY, C.L. Carbohydrate accumulation in leaves and stems of 'Valencia' orange at progressively colder temperatures. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 138, p. 13-17, 1977.

ZANETTI, M.; CAZETTA, J.O.; CARVALHO, S.A.; C.C.D.GRAF. Desenvolvimento vegetativo de mudas de citros em substrato de fibra de coco sob diferentes níveis de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1, 2003, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba; Embrapa, 2003. p. 1-9. Disponível em: <<http://www.citrograf.com.br>>. Acesso em: 15 maio 2008.

ZEKRI, M. Effects of PEG-induced water-stress on 2 citrus cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 14, n. 1, p. 59-74, 1991.

_____. Osmotic and toxic ion effects on seedling emergence and nutrition of citrus rootstocks. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 16, n. 10, p. 2013-2028, 1993.

_____. PEG stress altered citrus root and leaf mineral concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 18, n. 6, p. 1087-1102, 1995.

ZEKRI, M.; PARSONS, L.R. Growth and root hydraulic conductivity of several citrus rootstocks under salt and polyethylene glycol stresses. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 77, p. 99-106, 1989.

_____. Comparative effects of NaCl and polyethylene-glycol on root distribution, growth, and stomatal conductance of sour orange seedlings. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 129, n. 2, p. 137-143, 1990.

ZHAO, J.Y.; WANG, L.J.; FAN, P.G.; DAI, Z.W.; LI, S.H. Effect of half and whole root drying on photosynthesis, nitrate concentration, and nitrate reductase activity in roots and leaves of micropropagated apple plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 131, n. 6, p. 709-715, 2006.

ZHAO, L.; HE, J.X.; WANG, X.M.; ZHANG, L.X. Nitric oxide protects against polyethylene glycol-induced oxidative damage in two ecotypes of reed suspension cultures. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 165, n. 2, p. 182-191, 2008.

APÊNDICES

Avaliação preliminar de medição de fluxo de seiva em mudas cítricas pelo método da sonda de dissipação térmica

Métodos baseados em parâmetros fisiológicos das plantas medidos *in vivo* despontam como potenciais norteadores das práticas de irrigação (JONES, 2004). A determinação do fluxo de seiva em plantas cítricas vem sendo estudada, entre outras razões, para estimar a transpiração e como indicador dos efeitos de deficiência hídrica sobre a planta, e, desta forma, ser utilizada como parâmetro para manejo da irrigação (ALARCÓN et al., 2005; ORTUÑO et al., 2004a; ORTUÑO et al., 2006), a despeito das possíveis limitações de tais métodos (BURGESS; DAWSON, 2008; CERMÁK; KUCERA; NADEZHINA, 2004; JONES, 2004). Outras alternativas são, por exemplo, métodos baseados na variação do diâmetro de tronco em função da umidade no solo (ORTUÑO et al., 2004b).

De forma semelhante, a condutividade hidráulica do sistema radicular está associada à transpiração da copa, sendo um atributo característico do porta-enxerto (SYVERTSEN; GRAHAM, 1985). Porta-enxertos de citros mais vigorosos estão normalmente relacionados a uma condutividade hidráulica mais elevada e, por levarem a esgotamento das reservas hídricas do solo mais rapidamente, podem resultar em maior susceptibilidade à seca (SPIELGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996). Os principais métodos para medição de fluxo de seiva são: 1) velocidade do pulso de calor; 2) balanço de calor em segmento de tronco; 3) balanço de calor em ramos; 4) sonda de dissipação do calor; 5) deformação pelo campo de calor (CERMÁK; KUCERA; NADEZHINA, 2004). Por outro lado, a condutividade hidráulica é geralmente mensurada em câmara de pressão de Scholander adaptada, medindo-se o volume de seiva bruta exsudado pelo tronco decapitado e o relacionando ao comprimento estimado do sistema radicular (SYVERTSEN; GRAHAM, 1985). Todos os métodos são trabalhosos e dependem de equipamentos adequados.

O método da sonda de dissipação de calor também é conhecido como método de Granier (GRANIER, 1985). Seu emprego visa determinar o consumo de água de uma comunidade de plantas lenhosas a partir de medidas diretamente tomadas em indivíduos selecionados. Basicamente, o método consiste na inserção de duas sondas, contendo um termopar em cada, no caule ou ramo, uma acima da outra. O método relaciona a velocidade de dissipação de calor fornecida pela sonda num dado ponto do tronco com o fluxo de seiva. As sondas fornecem uma

quantidade diminuta de calor (1 a 5°C, no caso deste experimento). A variação temporal da diferença entre as temperaturas registradas pelas sondas resulta de transporte convectivo de calor pela seiva, indicando a velocidade do fluxo da seiva num dado intervalo de tempo. Desta forma, a maior amplitude de temperatura indica que a velocidade da seiva bruta é menor ou nula na planta, ao passo que menor amplitude de temperatura indica seiva conduzida a maior velocidade instantânea.

Neste trabalho de pesquisa, inicialmente previu-se a determinação da condutividade hidráulica de limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, com o objetivo de avaliar os efeitos de deficiência hídrica sobre a fisiologia de mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre esses porta-enxertos. Contudo, a indisponibilidade de equipamento apropriado não permitiu a coleta de dados referentes à condutividade hidráulica dos porta-enxertos. Por outro lado, optou-se pela avaliação de fluxo de seiva nas plantas, pelo método de Granier, com propósitos semelhantes, além da possibilidade de estimar a transpiração das mudas em containeres e compará-la com métodos mais simples como pesagem de sacolas. Este trabalho foi avaliado paralelamente ao experimento principal e visou, em caráter exploratório, caracterizar o fluxo de seiva em mudas cítricas. Além disso, pretendeu-se verificar a potencialidade do método de Granier para medição de fluxo de seiva em plantas pequenas ou mesmo mudas em containeres, uma vez que o método é empregado preferencialmente para plantas lenhosas adultas no campo.

Uma planta do porta-enxerto de citrumelo ‘Swingle’ e uma de limão ‘Cravo’, ambos com oito meses de idade, e duas mudas de laranja ‘Valência’ enxertada sobre limão ‘Cravo’, com doze meses de idade, foram selecionados para esta investigação. As plantas foram cultivadas em sacolas plásticas de 4,5L contendo substrato a base de casca de pinus, e conduzidas de acordo com os tratamentos culturais recomendados pela literatura (CARVALHO; GRAF; VIOLANTE, 2005). As plantas foram transferidas do viveiro comercial de Araras para estufa do Departamento de Irrigação e Drenagem da ESALQ/USP em Piracicaba, em janeiro de 2007. As condições climáticas são semelhantes às descritas para o local do viveiro.

As sondas de dissipação térmica foram construídas à partir de adaptações da metodologia apresentada por Delgado-Rojas (2003). A sonda consistiu em uma agulha de aço inoxidável de 0,80 x 30mm (Becton Dickinson, Inc., Franklin Lakes, NJ, USA), sendo que a agulha foi reduzida a 1cm de comprimento com o uso de um alicate (Figura 29). A ponta cortada da agulha foi lixada de modo a ficar completamente lisa. O sensor de temperatura construído foi do tipo

termopar, a partir do entrelaçamento de um fio descascado de cobre com um fio descascado tipo constantan, ambos com 0,5mm de diâmetro (Omega Engineering, Inc., Stamford, CT, USA), com aproximadamente 1,5cm de comprimento de fio descascado. Cada fio teve um comprimento total de 10cm. Este sensor foi inserido no interior da agulha a partir de seu corpo. Além do sensor, a sonda foi completada pela passagem de um fio tipo constantan pelo seu interior, de modo a permanecer uma extremidade paralela ao sensor (extremidade 1) e a outra, após passagem pelo orifício da agulha, foi enrolada sobre todo o comprimento da agulha de forma espiral (extremidade 2). Este segmento corresponde ao dissipador de calor propriamente dito (Figura 29). Um nó foi realizado ao final da espiral, sendo recoberto por cola tipo araldite (tempo de endurecimento de 10min) para que a estrutura ficasse firme, e um segmento de espaguete de borracha de 6mm de diâmetro foi colocado sobre o corpo da agulha de modo a fixar a extremidade 2 do fio de constantan. O custo do conjunto foi inferior a R\$3,00/unidade (jan 2007).

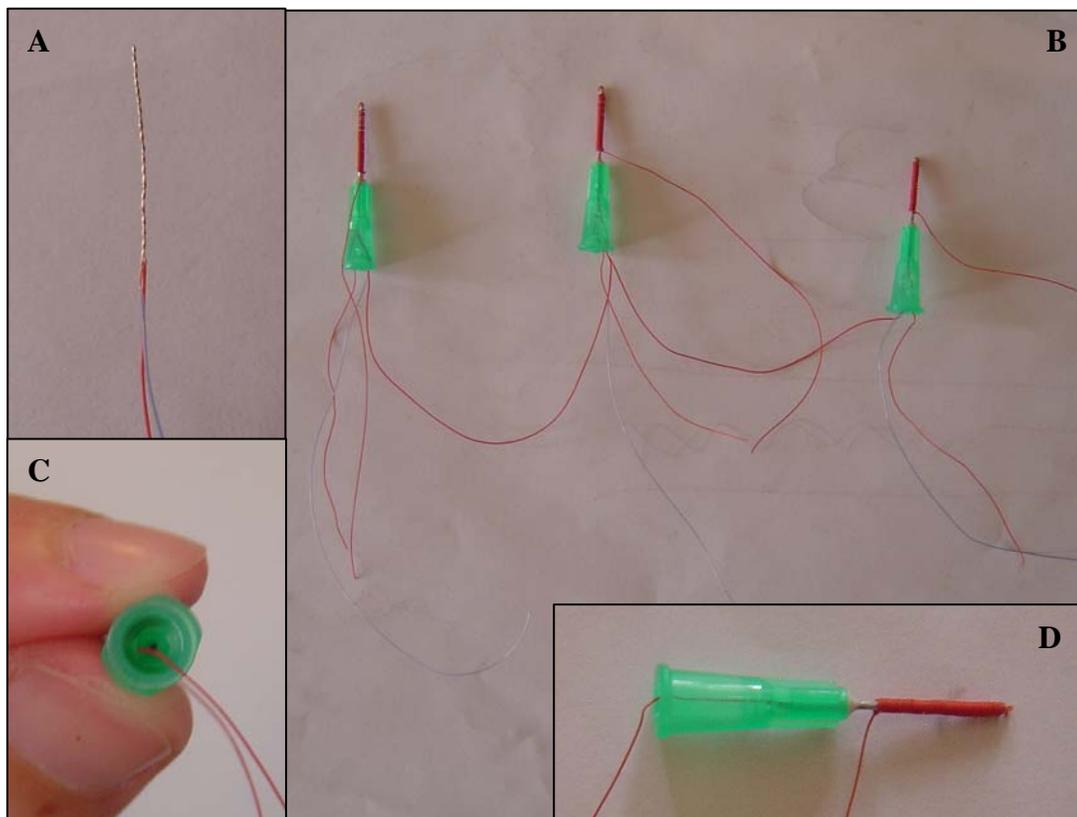


Figura 29 - Detalhes das sondas de dissipação térmica empregadas no método de Granier. (A) detalhe do sensor tipo termopar instalado no interior da sonda, fio azul é cobre e fio vermelho é constantan; (B) sondas de dissipação térmica instaladas em série para redução dos efeitos de gradiente térmico natural; (C) detalhe da agulha utilizada como sonda, com inserção do sensor no corpo da agulha; (D) detalhe da instalação de fio constantan em espiral sobre sonda, para dissipação do calor. Piracicaba, 2007

A fim de se minimizarem os erros decorrentes do gradiente térmico natural, observados no segmento de caule amostrado, foram instaladas três sondas por planta. As sondas foram interligadas pela extremidade 1 do fio tipo constantan externo (Figura 29). O caule das plantas foi perfurado a 3cm, 8 e 13cm acima do nível do colo, com furadeira elétrica, utilizando-se broca de 3,0mm (Figura 30). O furo foi realizado até uma profundidade de aproximadamente 1cm. As plantas apresentavam diâmetro ligeiramente maior que 1cm nestes pontos. Um segmento de tubo de aço inox 304 (Caporal, São Paulo), com costura brilhante, com 2,5mm de diâmetro externo e 0,25mm de espessura, foi inserido em cada cavidade perfurada. A sonda de dissipação térmica foi em seguida inserida no interior do tubo inox preenchido com pasta térmica para uniformizar a dissipação do calor. As sondas e orifícios foram protegidos por camada de silicone.

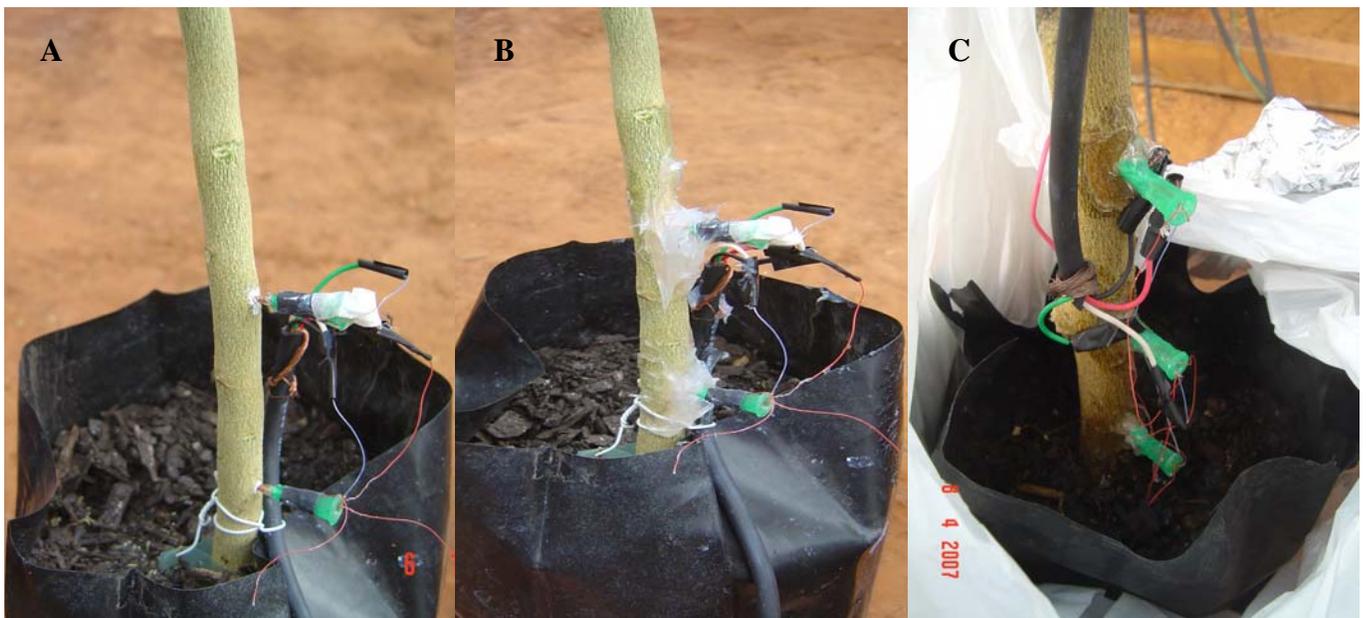


Figura 30 - Sondas de dissipação térmica empregadas no método de Granier. (A) Instalação de duas sondas de dissipação térmica em porta-enxerto de limão ‘Cravo’; (B) recobrimento das sondas com silicone para maior isolamento térmico; (C) instalação de três sondas em série visando minimizar interferência do gradiente térmico natural do tronco. Piracicaba, 2007

As extremidades do sensor (cobre e constantan) foram ligadas a fios encapados de cobre com quatro guias 4 x 0,14 mm² (Tiaflex, São Paulo), por sua vez conectados a um datalogger CR-10X (Campbell Scientific Inc., North Logan, UT, USA) com quatro canais (Figura 31), e uma saída terra. Todas as ligações foram soldadas e protegidas por fita isolante. Como fonte de

energia utilizou-se da corrente elétrica 110v, fornecendo-se ao conjunto uma potência constante de apenas 0,1watt. A resistência elétrica na sonda correspondeu a cerca de 80mA. Medidas de temperatura pelos sensores termopares foram registradas a cada 15min pelo datalogger.

Os vasos e colo das plantas foram recobertos por sacola plástica perfurada e camada de papel alumínio, de modo a não permitir evaporação do substrato e melhorar isolamento térmico do conjunto (Figura 31). As plantas foram colocadas sobre tijolos ao nível do solo. A irrigação foi diária, com 150mL por vaso, através de passagem controlada por uma abertura da sacola. Todos os dias os vasos foram pesados por volta das 09:00h em balança digital de cozinha (precisão de 1g) para determinação da transpiração. As pesagens foram conduzidas por dez dias, embora o conjunto tenha permanecido montado por 30 dias.



Figura 31 - Experimento exploratório para avaliação do método de Granier para determinar fluxo de seiva em mudas cítricas. (A) Plantas avaliadas, a partir da esq.: porta-enxerto de citrumelo 'Swingle', porta-enxerto de limão 'Cravo', mudas de laranja 'Valência' sobre limão 'Cravo'; ao fundo datalogger; (B) recobrimento do recipiente da muda e sondas com papel alumínio para maior reflexão de luz e resfriamento do conjunto. Piracicaba, 2007

A transpiração diária média foi muito semelhante entre as mudas, sendo de 130mL vaso^{-1} , exceto pelo porta-enxerto de citrumelo ‘Swingle’, com 100mL dia^{-1} . O método de Granier foi eficiente para indicar a variação da temperatura no caule, e, conseqüentemente, do fluxo de seiva, durante os 30 dias de avaliação (Figura 32). A faixa de variação de temperatura foi similar entre as plantas avaliadas. Durante a noite, não ocorre transpiração, e a diferença de temperatura entre os dois dissipadores praticamente não se altera, pois não há ascensão de seiva bruta no caule (Figura 33). Durante o dia, a diferença entre temperaturas diminui pois há circulação de seiva. Quanto mais intenso for o fluxo de seiva, menor a diferença entre temperaturas dos dissipadores, com tendência à nulidade. Durante o período de máximo estresse, após o meio-dia, pode haver nova estabilização da diferença entre temperaturas, num patamar inferior, devido à paralisação momentânea da transpiração decorrente do fechamento dos estômatos (DELGADO-ROJAS, 2003). Quanto mais pronunciada for a amplitude entre as diferenças das temperaturas, tanto maior é o fluxo de seiva naquele dado intervalo, portanto esta amplitude corresponde à altura de um patamar do gráfico.

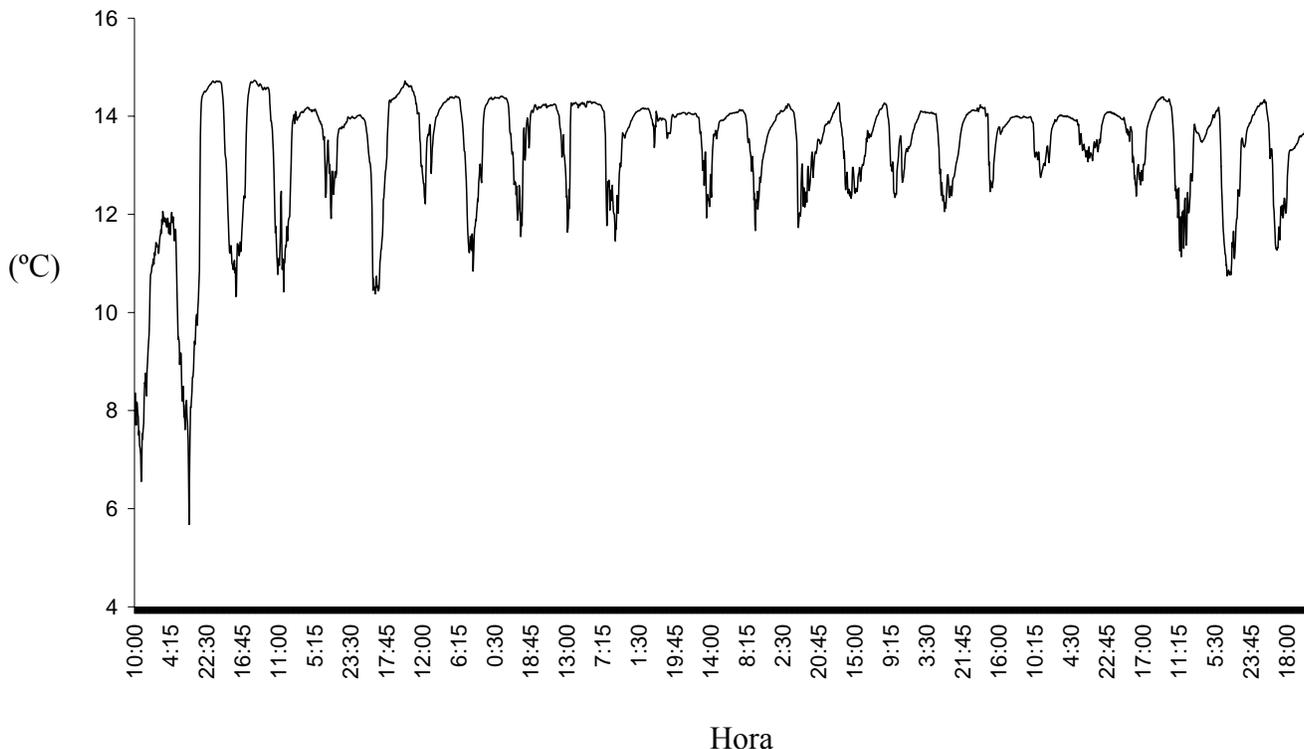


Figura 32 - Variação da diferença de temperatura registrada entre as sondas de dissipação térmica instaladas em uma mesma muda cítrica. Cada patamar corresponde a um dia. Piracicaba, 2007

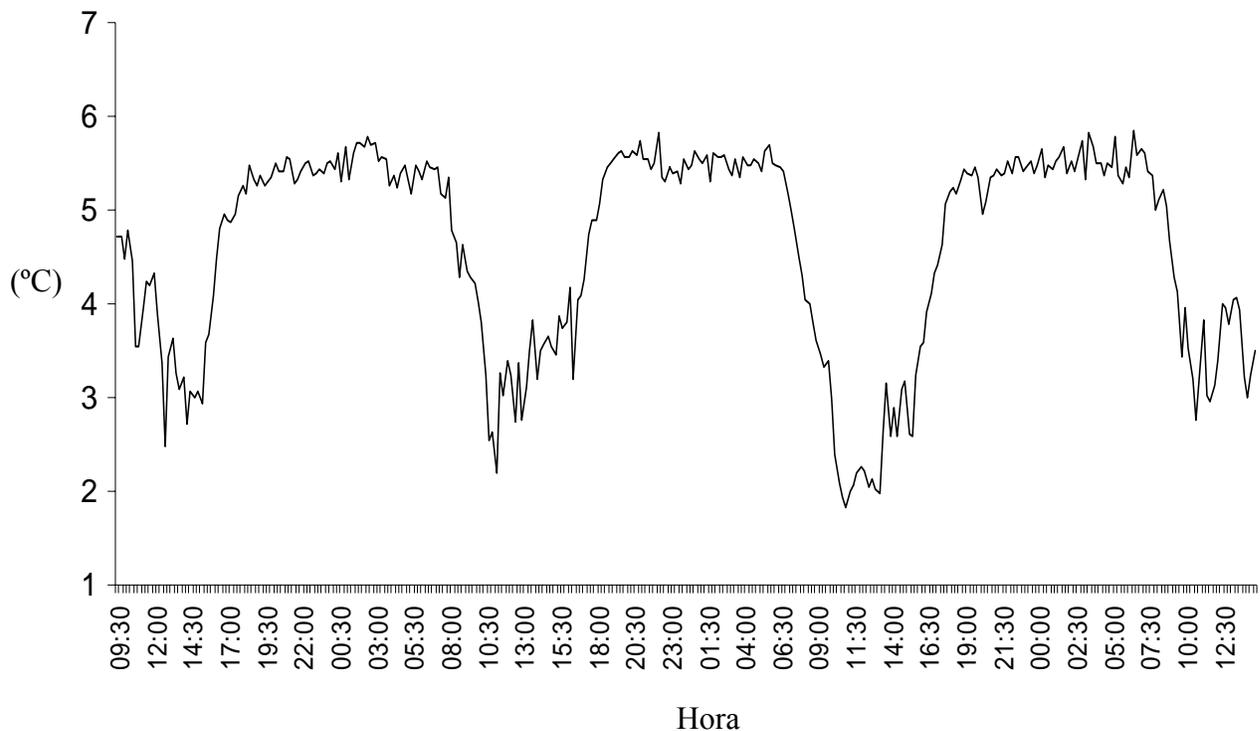


Figura 33 - Variação da diferença de temperatura registrada entre sondas de dissipação térmicas instaladas em uma mesma muda cítrica, em função da hora do dia. Patamares superiores correspondem ao período noturno (sem fluxo de seiva), depressão corresponde ao período diurno (seiva circulando). Piracicaba, 2007

Embora as curvas de diferença de temperaturas obtidas sejam razoavelmente proporcionais ao comportamento da seiva, houve uma grande variação pontual nas medidas, e em muitos dias o comportamento das diferenças de temperatura não acompanhou a provável variação real do fluxo de seiva (Figura 34). Mesmo com a instalação de três sondas para minimizar o gradiente térmico natural do caule, não foi possível corrigir esses erros. O gradiente térmico tende a ser maior próximo ao solo ou substrato, como foi o caso deste trabalho. Erros de medida e variação errática poderiam ser conseqüências também do tamanho diminuto das sondas, não havendo correspondência adequada entre a área medida pelo sensor e a presença de tecido vascular, ou seja, a área de xilema efetivo. A reduzida potência empregada, devido ao tamanho da sonda, também está mais sujeita a variações ao longo do tempo. Por fim, as dimensões pequenas do caule também contribuem para que o erro relativo seja maior, pois os tecidos estão mais facilmente sujeitos a variações de temperatura. Portanto, devido aos dados discrepantes, a determinação precisa do fluxo de seiva neste caso não seria confiável, e não se estimou o consumo de água das mudas a partir do conjunto de sondas utilizado.

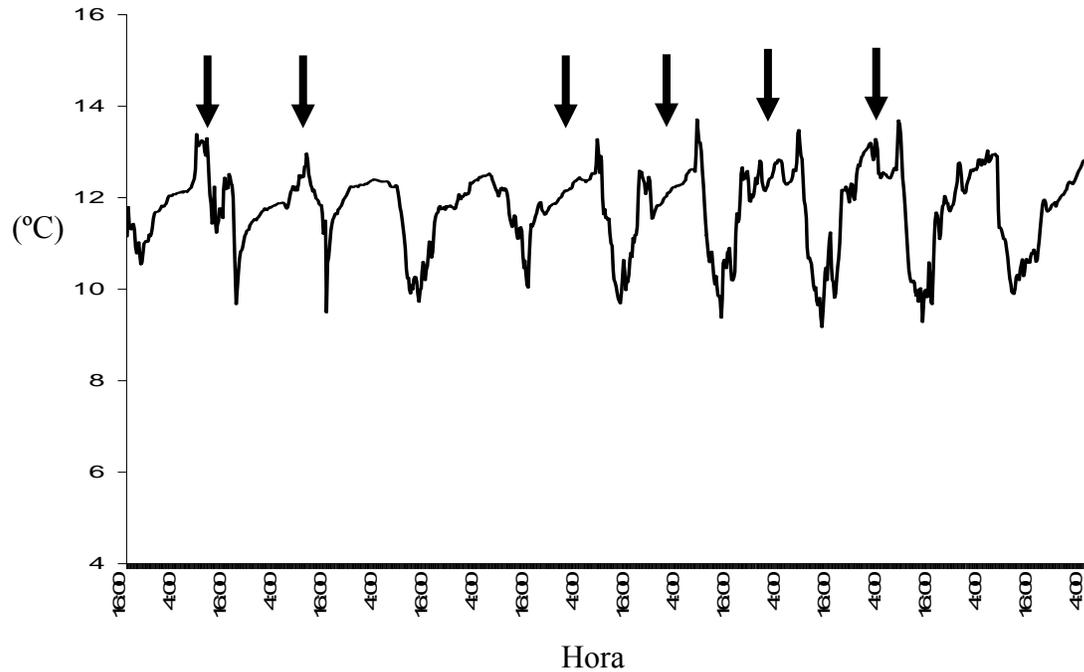


Figura 34 - Variação da diferença de temperatura registrada entre as sondas de dissipação térmica instaladas em uma mesma muda cítrica. As setas indicam diferenças de temperatura discrepantes que resultam de erros de medição diversos. Piracicaba, 2007

Após a desmontagem do conjunto, observaram-se severos danos ao caule das plantas, exatamente na região de inserção das sondas (Figura 35). Tais danos podem ter afetado a translocação de seiva no caule e alterado significativamente as medidas de fluxo de seiva, conforme exposto, sendo uma das razões para limitação do uso deste método em ramos ou troncos de menor tamanho (< 5cm de diâmetro). A fim de elucidar se estes danos foram provocados pelas sondas em si, segmentos de caule saudáveis foram recobertos com silicone sem a inserção do tubo de aço inoxidável ou sondas. Danos iniciais à casca foram observados em menos de dez dias, sugerindo que esta substância seja agressiva aos tecidos de citros, ao menos em plantas mais jovens. Portanto, outros materiais para recobrimento e isolamento térmico devem ser avaliados.

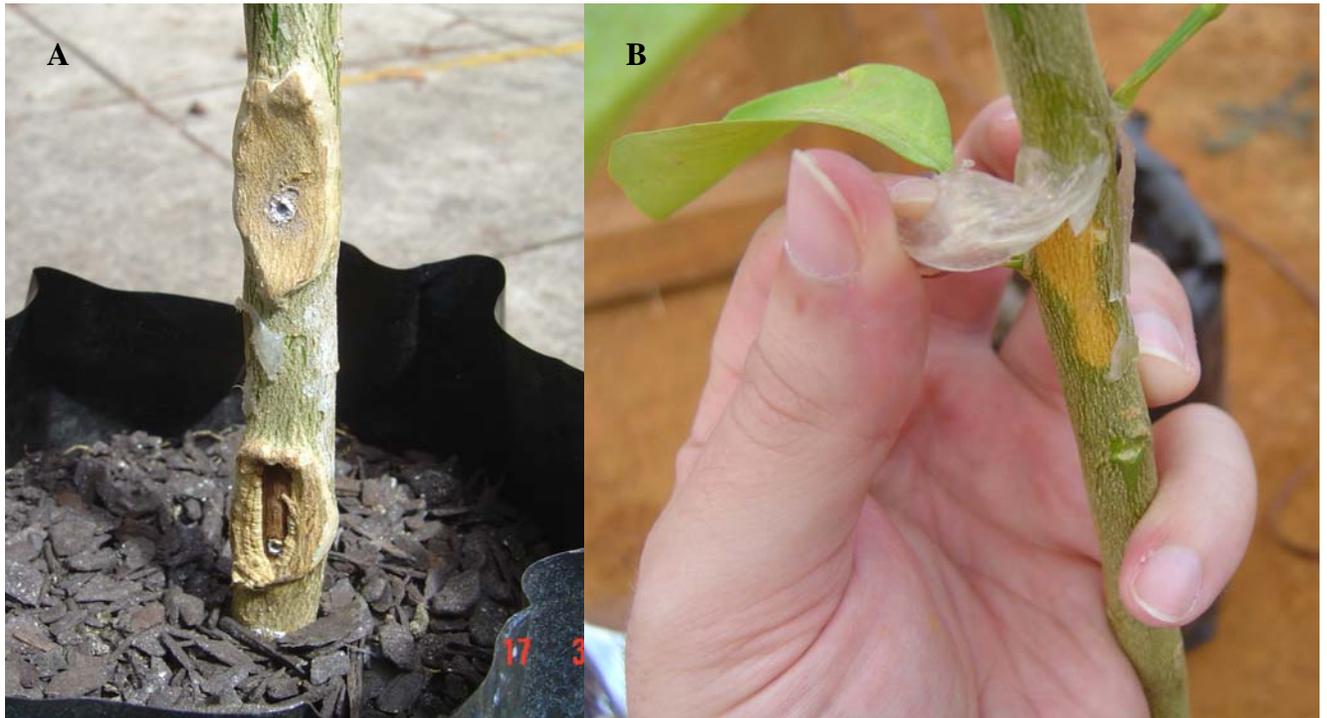


Figura 35 - (A) Danos severos ao caule de porta-enxerto de citrumelo ‘Swingle’, 30 dias após a instalação de sondas de dissipação térmica; (B) Danos iniciais provocados sobre caule de porta-enxerto de limão ‘Cravo’, 15 dias após a aplicação de silicone. Piracicaba, 2007

Os resultados preliminares indicam potencial para uso do método, e a validade de maiores investigações. Materiais não tóxicos aos tecidos de citros devem ser avaliados como isolantes, e a construção de micro-sondas poderia amenizar erros inerentes ao gradiente térmico natural. Como vantagem do método, destaca-se que os equipamentos e materiais necessários são acessíveis e de baixo custo, e com montagem relativamente simples das sondas. O método da sonda de dissipação térmica permitiria acompanhamento *in vivo* do fluxo de seiva, levando à estimação do consumo real de água e norteadando as práticas de irrigação em viveiros e pomares, além de ferramenta alternativa para triagem de porta-enxertos quanto à tolerância à seca.

Referências

ALARCÓN, J.J.; ORTUÑO, M.F.; NICOLÁS, E.; TORRES, R.; TORRECILLAS, A. Compensation heat-pulse measurements of sap flow for estimating transpiration in young lemon trees. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v. 49, n. 4, p. 527-532, 2005.

BURGESS, S.S.O.; DAWSON, T.E. Using branch and basal trunk sap flow measurements to estimate whole-plant water capacitance: a caution. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 305, n. 1/2, p. 5-13, 2008.

CERMÁK, J.; KUCERA, J.; NADEZHINA, N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. **Trees: structure and function**, Heidelberg, v. 18, p. 529-546, 2004.

DELGADO-ROJAS, J.S. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo da irrigação**. 2003. 129 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
GRANIER, A. A new method of sap flow measurement in tree stems. **Annales des Sciences Forestieres**, Les Ulis, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.

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

ORTUÑO, M.F.; ALARCÓN, J.J.; NICOLÁS, E.; TORRECILLAS, A. Comparison of continuously recorded plant-based water stress indicators for young lemon trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 267, p. 263-270, 2004a.

_____. Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. **Plant Science**, Shannon, v. 167, p. 275-280, 2004b.

ORTUÑO, M.F.; GARCÍA-ORELLANA, Y.; CONEJERO, W.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; MOUNZER, O.; ALARCÓN, J.J.; TORRECILLAS, A. Relationships between climatic variables and sap flow, stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 279, p. 229-242, 2006.

SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of horticultural crops: Biology of citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 230p.

SYVERTSEN, J.P.; GRAHAM, J.H. Hydraulic conductivity of roots, mineral nutrition, and leaf gas exchange of citrus rootstocks. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 110, n. 6, p. 865-869, 1985.

Do princípio ao Engenheiro Agrônomo

Durante a cerimônia de formatura da 99ª Turma de Formandos em Engenharia Agrônômica da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", o paraninfo Fernando Cardoso, célebre ex-aluno e atual presidente da Fundação Agrindus, nos disse para "não termos medo ou vergonha de começar pelo começo". Acho que ele tinha razão, e é com esse espírito que pretendo, concisa e francamente, apresentar minha trajetória e aspirações neste texto.

Nasci na cidade de São Paulo, há 28 anos. Até os 18 anos de idade, sempre morei naquela cidade, e minha vida foi essencialmente urbana. Meus pais nunca atuaram na agropecuária, apesar de meu avô materno, imigrante português, ter sido lavrador em Portugal e pecuarista em parte de sua vivência no Brasil. Contudo, como é bastante comum em famílias paulistanas, meus pais sempre foram saudosos da sua infância próxima ao campo, e, no ano em que nasci, meu pai adquiriu um sítio na cidade de Juquitiba, 80 km da capital, para que o filho, e, não tenho dúvida, ele mesmo também pudessem desfrutar do contato com alguma natureza rural.

Embora durante minha infância e adolescência eu tenha sistematicamente visitado e desfrutado desse sítio, existente até os dias de hoje, não imaginava ou projetava meu futuro na área agrônômica. Com absoluta certeza, perambular entre laranjeiras e hortas, conhecer desde pequeno raridades como a palmeira juçara, ler copiosamente um almanaque Abril 1986 sobre agropecuária (que meu pai carregava na sua ingenuidade de sitiante de fim-de-semana), treinar a leitura em revistas populares como a Globo Rural ou livretos técnicos da Embrapa, tudo isso me despertava um interesse inato que eu não poderia antever.

Ao mesmo tempo, ficava evidente meu gosto por estudar. Afinal, não era comum um menino de cinco, seis anos fazer a mãe comprar toda semana um fascículo da coleção O Mundo Animal, e assim passar as tardes na leitura religiosa. Claro, com fortuitos e saudáveis intervalos dedicados a brincadeiras da idade. Mas estava implícito para mim que era maravilhoso saber, que isto me era essencial. E foi assim que norteiei minha vida inteira na escola, com o compromisso de sempre ser estudioso e aplicado, buscando ser o melhor aluno da classe, menos por vaidade, mais por desafio.

Nesta toada, mantive meus estudos durante o ginásio e colegial, inteiramente cursados no colégio Magno. Gostava de todas as matérias, e tinha grande prazer na leitura e nos exercícios.

Por empenho de meus pais, pude desfrutar de excelentes condições de aprendizado nessa escola, onde tive brilhantes professores. Sua dedicação e palavras me inspiraram e me formaram como cidadão. Aos mestres Roque, Gama e Ana Maria, meus saudosos abraços!

Assim seguiram, em suma, os anos. Durante os três anos do curso colegial, era de praxe planejar e decidir qual a carreira universitária por seguir. Tendo em vista o lado emocional que já mencionei, a realidade econômica do país e as claras perspectivas das oportunidades oferecidas pelo agronegócio já naquela época me faziam cogitar seriamente a carreira agrônoma. Isso causava estranheza na maioria dos meus professores, já que cada uma sugeria que eu seguisse uma profissão ligada às suas respectivas disciplinas. Assim, eu deveria ter sido engenheiro mecânico, químico, advogado, médico, escritor, administrador, mas... agrônomo? Segundo uma professora de História, eu "passaria fome no futuro". Meus colegas achavam descabida a decisão. Confesso que a propaganda contrária me assustou um pouco, mas tive apoio de meus pais e de muitas pessoas que viam ali a possibilidade para um salto à frente.

Busquei atestar minha decisão de forma racional, de modo que um ano antes do vestibular fui conhecer três universidades (Viçosa, Unesp Jaboticabal e ESALQ), e um centro de pesquisa em Piracicaba, o atual Centro de Tecnologia Canavieira. Estas visitas foram fundamentais para nortear minha decisão, então consolidada. E meu plano original, ao ingressar na faculdade, era seguir a carreira diplomática após a graduação. Acreditava ser um plano bastante pertinente, e acho que pensei corretamente na época. Prestei concurso vestibular como treineiro em 1996 (poderia ter ingressado em alguns cursos menos disputados) e finalmente como candidato em 1997. Inscrevi-me na USP, Unesp Jaboticabal e na Unicamp, nesse caso no curso de Engenharia de Alimentos, como um plano B. O vestibular para Viçosa coincidia com o da Unesp, de modo que optei pela proximidade do campus com São Paulo.

Fui aprovado nos três vestibulares, sendo sétimo colocado na Unicamp e segundo na Unesp. Na época, a prova da fase 1 da USP era composta por 160 testes. Com 132 acertos, li a notícia de minha aprovação no vestibular. No começo de 1998, veio a segunda fase, com as provas de Química, Biologia, Matemática, Português, e uma redação sobre o tema "Amigos". Novamente, aprovado. Recebi alguns dias depois uma carta confirmando minha convocação para a matrícula e indicando minha posição como primeiro colocado na classificação para o curso. A inquestionável tradição da ESALQ, que me impressionara durante a visita, e o compromisso em não recuar na excelência nos estudos, selaram minha decisão: começava minha vida em

Piracicaba. Ainda guardo a lembrança do dia em que me mudei de São Paulo, sob fina garoa paulistana. Foi um dia bonito.

A vida acadêmica começou bastante agitada na ESALQ. Ao mesmo passo em que cursávamos muitas disciplinas básicas, como Calculo Diferencial e Integral, Biologia Celular e Química Analítica e Inorgânica, tínhamos o desafio da adaptação a uma nova realidade longe da família, convivendo agora com pessoas provenientes de todo o país. Eu fui morar em um pequeno apartamento próximo ao campus, onde permaneci até a conclusão do curso de graduação, embora tenha me tornado agregado de uma república de estudantes, a República VakTôa. Havia também a situação de conviver com o trote, bastante intenso na época, mas contornável. A verdade é que surgiam ali, para cada um de nós, bichos, um novo mundo e até novos nomes. Eu me tornei, por exemplo, o RobaOvO. E vivia cercado de figuras como Ave, Fe-jão, Ninguén, K-riña, Pé-Sujo, e todos os meus amigos.

Quando o aluno passa a tomar conhecimento do curso de Agronomia, sua percepção da carreira muda bastante. Primeiro há o choque da necessidade de assimilar matérias mais básicas, quando na verdade se espera mais contato com o "campo" (Onde estão as lavouras? Quando vamos dirigir um trator? Como adubar a bananeira?), pois, ainda não há a clareza de aqueles conhecimentos serão fundamentais à consolidação dos conceitos aprendidos mais adiante, durante as matérias profissionalizantes. E também há a surpresa com o imenso leque de atribuições e atividades que a carreira agrônômica oferece. Neste contexto, já nas primeiras férias de julho realizei estágio no Laboratório de Análises de Solo e Plantas, no Departamento de Solos e Nutrição Mineral de Plantas, sob supervisão do Prof. Dr. Jorge C. Kiehl. Conhecer a rotina de um laboratório de análises químicas e físicas, compreendendo a metodologia envolvida com a futura interpretação agrônômica, foi importante para mim, e quem me despertou este interesse foi o Prof. Dr. Rafael Aloisi, em suas entusiasmadas aulas de Ciência do Solo I. Depois, durante o segundo semestre do primeiro ano, fui estagiário no Departamento de Zootecnia, no setor de Animais Silvestres, sob supervisão do Prof. Dr. Luciano Verdade. Auxiliei no acompanhamento de pesquisas e criação de jacarés-do-papo-amarelo, movido mais pela curiosidade e quase como um tributo a meus gostos de criança. Contudo, trabalhei seriamente, e foi com uma sensação estranha que deixei o estágio no final do ano, pois, no mesmo dia em que contei ao professor que queria conhecer novas áreas da Agronomia, ele me proporia meu primeiro projeto de iniciação científica. O professor, no entanto, compreendeu e apoiou minha decisão.

Vejam que eu não segui o plano inicial que traçara, passando a largo do Departamento de Economia, Administração e Sociologia Rural. Eu estava deslumbrado com a tecnologia. E foi durante o segundo semestre de 1998, ainda no primeiro ano, que eu conheci um professor que mudaria minha vida acadêmica. Durante a disciplina de Ciência, Métodos e Técnicas de Pesquisa, tínhamos que apresentar um trabalho em grupo sobre tema livre. Não me lembro bem ao certo o porquê, mas optamos por tratar sobre a clorose variegada dos citros (CVC), doença que afeta as laranjeiras. Na época esse assunto despertava grande interesse, dada à sua relevância e às novidades de pesquisa e de manejo integrado que surgiam, com grande participação da ESALQ. Curiosamente, se houve uma área da agricultura que eu conheceria quando menino, mesmo que superficialmente, era a citricultura. Meu pai trabalhava em uma empresa metalúrgica que, entre tantos produtos, fabricava os tambores usados para armazenamento e transporte de suco de laranja concentrado, antes do advento de caminhões com tanques para suco a granel. Por conta disso, muitas vezes eu o acompanhava em visitas às fabricas de suco no interior e às fazendas de laranja dos clientes.

Pois bem, como parte da apresentação do trabalho meu grupo optou por entrevistar um professor especialista em citros. E foi assim, batendo despretensiosamente na porta de sua sala, que conheci meu futuro orientador. O Prof. Dr. Francisco de Assis Alves Mourão Filho nos recebeu muito bem, muito prestativo e atencioso. Fizemos nossa entrevista e o trabalho teve grande êxito. E a erudição e educação com que aquele jovem professor nos tratou despertaram em mim respeito e interesse pela área dos citros e fruticultura. Mesmo eu já tendo consciência da importância científica e econômica desse setor, talvez se ele não nos dedicara atenção, eu não teria iniciado na área. E com isso eu aprendi que um bom professor sempre está com sua sala aberta ao aluno.

Comecei estagiando num grupo de alunos vinculado ao Departamento de Produção Vegetal, o Pró-Hort, sob orientação do inesquecível Prof. Dr. João Alexio Scarpate Filho. Lá acompanhei tratamentos culturais e outras atividades práticas referentes às principais culturas frutíferas, como banana, citros, frutas temperadas, manga, entre outras. Acredito que o Prof. Mourão percebeu que eu tinha potencial ou vocação para a carreira acadêmica, e me propôs um projeto de iniciação científica após alguns meses no estágio. Na ESALQ existia um estágio profissionalizante, que contabilizava 28 créditos-aula, geralmente realizado no último semestre do curso. Um outro orientado do Prof. Mourão começaria seu estágio profissionalizante no

segundo semestre de 1999, em um viveiro de citros chamado Citrograf Mudas. Na ocasião, estava iniciando uma profunda e irreversível mudança na produção de mudas de citros. Tradicionalmente, essas eram cultivadas a céu aberto, como mudas de torrão. Em função de doenças transmitidas por insetos vetores, especialmente a CVC, a legislação paulista proibira recentemente a produção naqueles moldes, e tornava obrigatória a produção de mudas de citros em ambiente protegido por telas e em recipientes com substratos sem solo. Era uma quebra de paradigma, e nosso objetivo era desenvolver e conduzir pesquisa sobre novas tecnologias de produção de mudas, particularmente em relação a aspectos de nutrição mineral, irrigação e fertirrigação, tratos hortícolas e implantação de novos pomares.

Como eu cursava disciplinas, organizei meu horário de forma a ter um dia livre na semana. Assim, eu seguia com meu Gol semanalmente para a cidade de Conchal, onde ainda fica o viveiro. Inicialmente fui bolsista CNPq (jul/99 a jun/00), depois fiquei um ano com bolsa de empresas do setor de fertilizantes (jul/00 a jun/01) e finalmente bolsista de iniciação científica pela Fapesp (jul/01 a jun/02). Foram anos muito prósperos para mim, pois além da introdução nos meandros da vida científica, adquiri muito conhecimento técnico e humano nesta experiência. Do fruto desses trabalhos surgiram artigos científicos, participações em simpósios e eventos, e, mais importante, tecnologias e informações muito úteis aos viveiristas de citros, certamente incorporadas ao sistema de produção de mudas no Estado. Nesta fase também conheci outro profissional que muito me influenciou. O Eng. Agr. Christiano César Dibbern Graf, proprietário do viveiro, empresário de sucesso e entusiasta da pesquisa. Aprendi muito na sua convivência, e eu pude entender como funciona a mente de um agricultor moderno, quais suas motivações, dificuldades e valores. Quantas vezes me questioneei, quando, ao visitar meu experimento, César me alertava sobre um detalhe que eu não percebera, uma planta mal tratada, uma mancha diminuta, que ele via em questão de segundos ao bater os olhos. Era a vista do agricultor. E, em outra ocasião, ele me cobrou asperamente por ter me atrasado, por desleixo, a uma reunião agendada com ele. Era um ensinamento para o futuro mercado de trabalho, ter postura digna.

Além dos projetos de iniciação científica, complementei minhas atividades extracurriculares com outros estágios de férias, na área de fitossanidade, junto ao Fundecitrus, e na área de produção de frutas frescas para exportação, na Fazenda Sete Lagoas, em Mogi Guaçu. Mais uma vez, foram experiências intensas e oportunas.

Um episódio à parte: próximo às férias de final de ano, não me lembro qual, eu estava procurando bibliografia quando me encontrei com um colega de turma, Alf de Wit. Ele estava visivelmente perturbado. Estava de recuperação em uma disciplina básica do Dept. de Solos. Como eu era bom aluno, muitas vezes estudava com colegas, tentando "ensinar" a matéria, isso desde a escola fundamental. Naquele dia, eu parei o que estava fazendo e fui tirar a dúvida de Alf. Não era algo difícil, mas a forma como ele estava estudando não atendia a sua necessidade. Aparentemente, eu expliquei a matéria de um jeito que ele "pegou" o assunto, porque ele era muito inteligente. Não me tomou muito tempo ajudá-lo. Alguns dias depois, ele me veio contar feliz que havia passado, com boa nota. Fiquei muito realizado. Alf se tornou estagiário pelo restante do curso no Departamento de Solo, sob orientação do Prof. Dr. Godofredo César Vitti, e se tornou especialista em fertilidade. Espero que esteja bem.

Também é memorável a viagem técnica que fiz ao Estado do Ceará, junto a outros três colegas de curso (K-riña, Nakgima e Rapozão). Rodamos mais de 2.500 km em menos de 15 dias dentro daquele Estado, conhecemos todos os perímetros irrigados, e diversos projetos de irrigação e empreendimentos em fruticultura, olericultura e floricultura. Tivemos contato com agricultores familiares e empresariais, pesquisadores e professores, políticos, enfim, foi o nosso Grande Sertão. Conhecer uma realidade completamente distinta de agricultura contribuiu sobre maneira para nosso amadurecimento.

A graduação chegava ao fim. E para finalizar, estabeleci como meta realizar o estágio profissionalizante fora do país. Após conversar com Prof Mourão, iniciamos trabalhos para viabilizar o estágio na Universidade da Flórida. Em 2001, houve um simpósio internacional de viveiristas de citros, em Ribeirão Preto, onde conheci dois professores americanos: Dr. Robert E. Rouse e Dr. William S. Castle. Na época, eles se mostraram receptivos para este intercâmbio. E no início de 2002, ao consultá-los novamente, concordaram em me receber. Assim, em julho de 2002, após todos os trâmites, embarquei para os Estados Unidos. Durante meu estágio, residi em um alojamento no South West Florida Research and Education Center, um centro de pesquisa vinculado ao Institute of Food and Agricultural Sciences da Universidade da Flórida. Esse centro fica em Immokalee, cidade cravada na região produtora de citros mais importante da Flórida atualmente. O objetivo central de meu estágio era conduzir um estudo comparativo entre os sistemas de produção de mudas cítricas da Flórida e de São Paulo, através de visitas sistemáticas aos viveiros daquele estado americano. Além disso, auxiliei na condução de atividades rotineiras

no centro, no que tangia pesquisa aplicada e acompanhamento da produção comercial de citros, mirtilo, figo e pêssego, sempre com a presença marcante de Dr. Rouse, que me acolheu muito bem.

Um dos pontos marcantes desse estágio foi a possibilidade de conviver com alunos e pesquisadores de diversas nacionalidades: chineses, indianos, chilenos, árabes, russos, mexicanos, conhecendo seus hábitos e suas culturas. O estágio também me proporcionou conhecer o sistema universitário norte-americano, sua prática de ensino, e a inegável pujança de que usufruí. E acredito que o ponto máximo de minha experiência foi ter a oportunidade de ministrar palestras sobre a citricultura brasileira aos americanos. Para minha surpresa, muitos profissionais e professores compareceram, sob incentivo do Dr. Rouse, pois eu não imaginava que eles valorizariam um simples aluno de graduação estrangeiro. Mas os americanos, ao que me parece, não têm preconceitos nessa matéria. O estágio foi concluído com sucesso e, antes de retornar ao Brasil, fui convidado a iniciar a pós-graduação na Universidade da Flórida. Mais uma vez, tinha diante de mim uma decisão difícil e divisora de águas. Após profunda análise, eu me decidi por regressar ao Brasil, pois imaginei que minha decisão não refletiria apenas em permanecer nos EUA apenas durante a pós-graduação, mas fatalmente em não voltar mais ao Brasil. E eu não queria abandonar a idéia de progredir junto dos meus. Mas devo ser sincero aqui: foi uma escolha muito difícil.

Finalmente, regressamos à cerimônia de formatura da 99ª Turma de Formandos em Engenharia Agrônoma da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Fui o orador da turma, subindo à tribuna logo após Dr. Fernando Cardoso, além de conduzir o Juramento do Engenheiro Agrônomo. Cumprí meu pacto pessoal, formando em primeiro lugar na carreira e sendo agraciado com 10 prêmios por honra ao mérito e desempenho acadêmico exemplar. Formamo-nos todos em condições de igualdade, contudo não negarei que me senti satisfeito por essa realização, e que ela me compele a seguir buscando a excelência. Nem sempre foi um caminho rumo ao sucesso, pois muitos foram os momentos de decepção, ansiedade, e dificuldades diversas que apareceram. Mas, ali eu tinha minha base, minha referência, meus amigos.

A pós-graduação e o início da vida profissional

Logo após a formatura, em janeiro de 2003, tive algumas propostas de trabalho. No entanto, optei pela inscrição no curso de Mestrado, do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ. Em março de 2003 iniciaram-se as aulas, e meu orientador foi o Prof. Mourão. O curso de Mestrado na época era bem intenso, devido ao elevado número de créditos-aula requeridos (64), bem como à realização de exame de qualificação. O prazo para conclusão era de 30 meses, de modo que os trabalhos experimentais deveriam ser conduzidos concomitantemente às demais tarefas. Minha dissertação envolveu a avaliação de métodos alternativos de propagação de plantas cítricas, sob cultivo protegido, na prevenção da Morte Súbita dos Citros (MSC).

Essa nova doença afetava pomares no Triângulo Mineiro e Norte de São Paulo, resultando na morte de todas as variedades copa enxertadas sobre o limoeiro ‘Cravo’. Como esse se trata do principal porta-enxerto de citros no Brasil (>80% de uso), pode-se ter uma idéia do impacto destrutivo da doença, até hoje sem sua etiologia completamente esclarecida. Buscamos desenvolver e avaliar diferentes métodos de propagação que indiretamente permitissem alcançar a prevenção do mal, utilizando-se do conhecimento disponível. Assim, realizamos três experimentos: 1) produção de 11 porta-enxertos alternativos ao limão ‘Cravo’, em diferentes recipientes, para fins de subenxertia no campo. Essa técnica foi amplamente utilizada para evitar a morte de plantas em estágios iniciais da doença, valendo-se de porta-enxertos tolerantes à MSC; 2) avaliação da produção de mudas de laranja ‘Pêra’ sobre os porta-enxertos alternativos citrumelo ‘Swingle’ e limão ‘Volkameriano’, tolerantes à MSC, contudo incompatíveis com esta variedade copa. Para tanto, empregamos interenxertos compatíveis com a laranja ‘Pêra’ e também tolerantes à MSC. As novidades de pesquisa sobre essa doença eram tão dinâmicas que, após a aprovação da bolsa de Mestrado pela Fapesp, a pesquisa constatou que o limão ‘Volkameriano’ também era intolerante à MSC; não obstante, decidimos manter esse tratamento; 3) produção de mudas de laranja ‘Valência’ a partir do enraizamento de estacas de citrumelo ‘Swingle’ pré-enxertadas, objetivando-se otimizar e acelerar a produção do maior número possível de mudas sobre esse porta-enxerto, hoje o segundo em importância econômica no Estado de São Paulo.

Para a condução desses experimentos era necessária uma infra-estrutura indisponível no campus. Desta maneira, mais uma vez estabelecemos parceria com a iniciativa privada. Outro

viveiro comercial de mudas de citros, a Sanicitrus Mudas Cítricas, abriu suas portas para este trabalho. Localizado na cidade de Araras, mais próxima de Piracicaba, esse viveiro já tinha excelente relacionamento com a Escola, recebendo excursões de alunos de graduação e pós-graduação. Os proprietários do viveiro, os Eng. Agr. Reinaldo Donizeti Corte e Eng. Agr. Gilberto Tozatti, com sua impressionante experiência como viveiristas há 10 anos e consultores de citros há 20 anos, muito contribuíram para assessorar o dia-a-dia dos experimentos e esclarecer muitas dúvidas que eu tive. O modelo de integração entre universidade e iniciativa privada, na minha experiência pessoal, permitiu que a pesquisa aplicada fosse potencializada e que os resultados de suas investigações não só contribuíssem para meu treinamento acadêmico, como também fossem discutidos e assimilados pelo setor produtivo. Acredito que este seja um modelo de integração a ser estimulado e perseguido ao longo da carreira do pesquisador ou professor universitário, com claros benefícios aos alunos e sociedade. Nesta toada, o curso de Mestrado seguiu normalmente, de modo que em maio de 2005 realizei a apresentação de minha dissertação, sendo aprovado pela Banca Examinadora (Prof. Dr. Francisco A. A. Mourão Filho, Dr. Sérgio A. Carvalho, pesquisador do IAC/CAPTA Citros "Sylvio Moreira", e Dr. Eduardo S. Stuchi, pesquisador da EMBRAPA/EECB).

Ao final do curso de Mestrado, iniciei um projeto pessoal, implementado a partir de fevereiro de 2005 (conclusão da bolsa de Mestrado) e levado a cabo até o princípio do Doutorado, em março de 2006. Juntamente com os mesmos colegas da viagem ao Ceará, decidimos empreender um negócio agrícola. Após um longo período de investigação de mercado e ansiosos por inovar, acabamos por adentrar no ramo dos óleos essenciais, uma novidade para todos nós. A decisão sobre esse setor se fundamentou em uma análise de mercado e sucessivas visitas e reuniões com agentes do mercado e pesquisadores, de modo que estabelecemos um projeto para produção de espécies aromáticas e extração de óleos essenciais em destilaria de arraste a vapor. Nosso projeto foi batizado de Maety, palavra indígena cujo significado remonta à "época da semeadura". Estabelecido o contato com uma empresa compradora do óleo bruto, iniciamos o projeto às nossas próprias dispensas. As espécies adotadas inicialmente foram o capim-limão e a citronela, gramíneas aromáticas do gênero *Cymbopogon*, de valor agregado intermediário, porém com crescimento rápido. Do final de 2003 ao começo de 2005, meus colegas se responsabilizaram pela multiplicação de mudas, já que para essas culturas não há grande disponibilidade de material propagativo para compra. O local onde conduzimos este

projeto foi a cidade de Piedade, SP, caracterizada pelo clima tropical de altitude e produção de culturas olerícolas e frutíferas em pequenas propriedades. O clima local favorece o cultivo para obtenção de princípios ativos e nosso objetivo era alcançar 100 ha cultivados, sendo metade em áreas arrendadas e o restante fornecido por agricultores familiares vizinhos, visando adiante o cultivo sob sistema de produção orgânica.

Como todo projeto de empresa, esse nasceu para perseguir o sucesso. Mas seria a vida empresarial compatível com a acadêmica? Sabemos que pode haver uma série de limitações para isso. No entanto, ao mesmo tempo em que o curso de Mestrado era minha prioridade, de alguma forma arrumei tempo para trabalhar gratuitamente em inúmeros fins-de-semana, em busca de um ideal. E se o sucesso financeiro aparecesse no futuro, eu não desejava abandonar o aprimoramento dos estudos tão pouco. Talvez na época pensasse em cursar posteriormente Doutorado em área correlata ao nosso empreendimento. Em 2005, após elaborarmos o projeto de uma destilaria de médio porte, obtivemos uma planta construída por terceiros em Piracicaba. E nesse ano muitos agricultores vinham nos indagar sobre a origem do "perfume" que se sentia próximo do sítio Boa Esperança, nossa base em Piedade. Além das gramíneas, tivemos a oportunidade de destilar em caráter piloto diversas outras espécies, como erva-baleeira, funcho-doce, cebola, manjerição. Por insistência minha, implantamos testes de cultivo de diversas espécies potenciais de eucalipto, arruda, citros e plantas aromáticas. Embora eu estivesse vislumbrando o médio e longo prazo, admito aí confundir os propósitos da ciência e experimentação com a busca da lucratividade.

A experiência com a Maety foi fundamental para mim. Lá, pela primeira vez senti o que realmente é ser um produtor rural, suas dificuldades e desafios. Percebi como é difícil manter uma lavoura saudável e produtiva. Como o ambiente dita as regras, que nós buscamos sempre suplantar e moldar aos nossos interesses. Percebi que a renda pode levar anos para aparecer. Tive a experiência de aprender a arrendar terras, a ser agricultor, micro-empresário, pequeno industrial, comandar funcionários e diaristas com nível educacional muitíssimo inferior ao nosso, elaborar planos de negócios, comercializar, relacionar-se com outros produtores e agrônomos. Posso afirmar que entendo o que muitos empresários passam diariamente, e o que muitos alunos de graduação enfrentarão ao longo de sua vida profissional.

A esta altura, pode-se desconfiar que a empresa não atingiu seus objetivos iniciais. É verdade. As persistentes dificuldades do dia-a-dia, a falta de capital de giro, e, principalmente, a

derrocada galopante do dólar conduziram-nos ao fracasso empresarial naquele momento (os óleos essenciais são commodities *sui generis*, comercializadas internacionalmente em dólar e que exigem alta eficiência produtiva e rendimento industrial para garantir competitividade internacional). Foi muito difícil aceitar o insucesso, buscamos diversas alternativas, mas, o negócio não era mais viável para nossa realidade. Todos os sócios decidiram por parar as atividades. Conseguimos vender uma parte de capim-limão como matéria-prima para chá, e mudas para outros produtores de ervas desidratadas. A destilaria foi vendida para o Grupo Centroflora, que em associação às empresas Aché Laboratórios e Plantas Aromáticas do Brasil, pertencente à família do ex-ministro Roberto Rodrigues, iniciavam exploração de erva-baleeira para produção de um antiinflamatório nacional. Não me arrependo, pois, foi com essas experiências que segui até aqui e me tornei um profissional mais completo. Ainda até iniciar o programa de Doutorado na ESALQ, realizei curso de auditor líder da qualidade, de modo que prestei serviços esporádicos como auditor especialista em ISO 9000:2001 e EurepGAP. Essa oportunidade foi muito gratificante e me permitiu conhecer mais profundamente a questão da certificação e rastreabilidade no agronegócio, cada vez mais presente na realidade agropecuária brasileira, e como ela deve estar prevista na pesquisa atual.

Assim, chegamos ao doutorado. Após anos se envolvendo com a produção de mudas de citros, e buscando ampliar minha área de especialização, elaboramos um projeto para investigar os limites da produção de mudas de citros sob irrigação deficitária e os efeitos da deficiência hídrica sobre a fisiologia da planta, uma vez que a irrigação em São Paulo é uma das práticas mais exigentes e controversas da cultura, seja em campo ou no viveiro. Novamente estabelecemos parceria com a Sanicitrus Mudas Cítricas, cujo apoio nos foi fundamental. Uma vez no doutorado, acredito que alcancei maior maturidade, calcada na experiência até então. Para a elaboração do projeto, além da análise crítica da atividade de produção comercial, consultei diversos pesquisadores de variadas instituições, o que foi crucial para elaborar a hipótese de pesquisa e metodologia. Uma parcela significativa das análises envolveu a cooperação de outras equipes de pesquisa da ESALQ, da área de fisiologia, estatística e irrigação, bem como o apoio do Prof. Dr. Marcos Buckeridge e sua equipe, do Instituto de Biociências da USP, onde conduzi as avaliações de carboidratos. A multidisciplinaridade da pesquisa é muito bem-vinda, e permite a integração holística das informações para gerar novo conhecimento. E, apesar de ser um programa de Fitotecnia, o exame de qualificação englobou os temas "estresse hídrico" e

"carboidratos de reserva", ampliando então o leque de assuntos para minha formação. Estes temas, além de propagação e produção de mudas, cultivo protegido, fruticultura e sistemas de produção, estão entre aqueles que me compelem a ampliar o saber humano.

Durante o curso de doutorado, procurei freqüentar disciplinas que formam, e não que apenas informam. Assim, cursei Anatomia Vegetal, Fisiologia Vegetal e do Crescimento, Estatística Experimental e Bioestatística, além de Viticultura. A produção de artigos científicos foi constante durante o curso, e sempre objetivamos textos universais. Busquei me envolver também com suporte e orientação de alunos de graduação, merecendo destaque o estágio como monitor da disciplina básica "Fruticultura", ministrada aos alunos de graduação em Engenharia Agrônômica, entre 02/2007 a 07/2007. Pela primeira vez, eu e o colega João Paulo estivemos a frente de quase 200 alunos, e a experiência foi muito enriquecedora. Até onde sabemos, a disciplina foi uma das mais bem avaliadas pelos alunos durante o ano de 2007, e percebi que acima de tudo persistiu o prazer da docência. Outro momento de grande auto-conhecimento foi quando decidi não assumir o cargo de Fiscal Federal Agropecuário do MAPA, após aprovação em concurso em 2007. Essa seria uma boa oportunidade, mas, implicaria em me afastar da vida acadêmica imediatamente, e eu entendi que este não seria o meu caminho.

Em junho de 2008, tive uma experiência única. Meu projeto de doutorado foi aprovado na seleção do Campus of Excellence, um evento promovido anualmente nas Ilhas Canárias, pela Fundação Vitalia e pela Universidade de Las Palmas de Gran Canária. São selecionados 100 alunos de pós-graduação vindos do mundo todo, que apresentam suas pesquisas inovadoras ou de grande impacto para um elenco de cientistas ganhadores do Prêmio Nobel, professores universitários, ativistas sociais, empresários, políticos, artistas, jornalistas, enfim, um grande caldo geral de nações e áreas do conhecimento que buscam se conhecer melhor, apresentar suas idéias e discutir seus pontos de vistas. Contando com o suporte daquelas instituições e da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da USP, pude participar e conhecer pessoalmente ícones da Ciência como Hartmut Michel, Jerome Friedman e Edmond Fischer. Desta viagem, tirei as seguintes conclusões: em todos os lugares da Terra, nós jovens pesquisadores somos incrivelmente semelhantes, apesar das diferentes condições em que nos situamos; a forma de pensar dos grandes cientistas é ao mesmo tempo integral e objetiva, sensível e prática, busca se doar incansavelmente e desdenha dos limites, apesar das limitações que há por trás de cada um; e que

os desafios da humanidade são imensos e duros, persistentes, mas, inevitáveis. Como os nossos próprios.

Resumi aqui, num lampejo, o que me sucedeu até este momento. Um dia espero ter a coragem de escrever a versão definitiva, e muitos mais que em mim aguarda. Por hora, entrego minha tese de doutorado. Espero ter concluído essa etapa satisfatoriamente, alicerçando melhores trabalhos vindouros. No mais, agradeço a todos que conheci ao longo de minha história, e sigo pelos caminhos reservados para o futuro.

Piracicaba, 31 de Julho de 2008.

Eduardo Augusto Girardi