Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Desenvolvimento de um lisímetro móvel de pesagem e análise da demanda hídrica e de nutrientes na produção de porta-enxerto cítrico

Ronaldo Antonio dos Santos

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Ronaldo Antonio dos Santos
Engenheiro Agrônomo

Desenvolvimento de um lisímetro móvel de pesagem e análise da demanda hídrica e de nutrientes na produção de porta-enxerto cítrico

Orientador:
Prof. Dr. MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2006

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

Santos, Ronaldo Antonio dos
Desenvolvimento de um lisímetro móvel de pesagem e análise da demanda hídrica e de nutrientes na produção de porta-enxerto cítrico / Ronaldo Antonio dos Santos. - - Piracicaba, 2006.
95 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Ambiente protegido 2. Cultivo em substrato 3. Fertirrigação 4. Lisimetro 5. Mudas – Produção 6. Nutrição mineral 7. Porta-enxertos I. Título

CDD 634.3

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

A minha esposa Elza, que em todos estes anos esteve ao meu lado, incentivando e ajudando a realizar este sonho

Dedico

Aos meus pais, Esmeraldo e Marli e meus sogros Urias e Tereza, pelo apoio, incentivo e por compreender e perdoar a nossa ausência

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela infinita bondade e generosidade para comigo, pelos ensinamentos e presença constante, sempre me guiando e protegendo;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade de aperfeiçoar e adquirir novos conhecimentos;

Ao professor Dr. Marcos Vinicius Folegatti, pela orientação, amizade, confiança, apoio e inspiração;

Ao professor Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez, pelo incentivo e apoio à realização deste mestrado;

Aos amigos e conselheiros Dr. Cláudio Ricardo da Silva e José Alves Júnior, pelos incentivos, apoios, paciência e momentos de reflexão;

Ao coordenador do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem e Chefe do Departamento de Engenharia Rural, professor Dr. José Antônio Frizzone, pelos ensinamentos e condições oferecidas para a realização deste trabalho;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Dr. Décio Eugênio Cruciani, Dr. Iran José Oliveira da Silva, Dr. Jarbas Honório de Miranda e Dr. Sergio Nascimento Duarte, pelos inestimáveis ensinamentos transmitidos;

Ao professor Dr. Klaus Reichardt, pelos ensinamentos, conselhos e exemplo de dedicação ao próximo;

Ao MSc. Carlos Cesar Pereira Nogueira, professor Dr. Rubens Duarte Coelho, MSc Tales Miler Soares e professor Dr. Tarlei Arriel Botrel, pelos ensinamentos, sugestões e auxílios prestados durante a construção dos lisímetros e realização do experimento com porta-enxerto cítrico;

Ao professor Dr. Silvio Sandoval Zocchi, pelo auxílio na análise estatística dos dados;

Aos colaboradores, Antonio Agostinho Gozzo, Áureo Santana de Oliveira, Eugenio Beltrame Neto, Francisco de Oliveira, Gilmar Batista Grigolon, Hélio de Toledo Gomes, José Ferreira de Oliveira, José Geraldo Gomes, MSc. Kelte Resende Arantes, Lino Stênico, Luiz Afonso da Costa, MSc. Marconi Batista Teixeira, Osvaldo Rettore Neto, MSc. Ralini Ferreira de Melo, Dr. Rene Porfírio Camponez do Brasil, Dr. Roberto

Terumi Atarassi, MSc. Rodrigo Otavio Câmara Monteiro, MSc. Tadeu Miranda de Queiroz, Dr. Tonny José Araújo da Silva, pelas sugestões e auxílios prestados durante a construção dos lisímetros;

Aos colaboradores, Adriano Albuquerque, André Luiz Rodrigues, Antônia de Fátima R. Blasck, Benicio S da Silva, Christiano Cesar Dibbern Graf, Dr. Ênio Farias de França e Silva, Jerry Adriano de Souza, José Figueiredo, MSc. Marcelo Zanetti, Marcus Vinicius da Silva Baraldi, Rafael Augusto Fadel Bordignon, Saulo Alves de Souza, Tatiane Minatel e demais colaboradores da empresa Citrograf Mudas, pelas sugestões e apoios prestados durante a realização do experimento com porta-enxerto cítrico;

As secretárias, Beatriz Regina Novaes, Davilmar Aparecida Domingues Collevatti, Estela Maria Bigotto, Márcia Fecchio, Márcia Ganzella, Roseli Cappelletti, Sandra Regina T. Silveira Mello e Vanda Macedo Zambello, pela dedicação e constantes apoios;

Aos companheiros do curso de pós-graduação, MSc. Anamaria de Sousa Duarte, MSc. Antonio Clarette Santiago Tavares, MSc. Ariovaldo Antonio Tadeu Lucas, MSc. Célia Regina Ferrari Faganello, MSc. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida, Cícero René Almeida Barbosa Júnior, Dr. Claudinei Fonseca Souza, MSc. Cleomar Ferreira de Oliveira, MSc. Euro Roberto Detomini, MSc. Hudson de Paula Carvalho, Jokastah Wanzuu Kalungu, Dr. Juan Sinforiano Delgado Rojas, MSc. Manoel Januário da Silva Júnior, MSc. Marcos Emanuel da Costa Veloso, Dr. Miguel Ferreira Neto, MSc. Mônica Martins da Silva, Pabblo Atahualpa de Aguiar Ribeiro, MSc. Priscylla Ferraz, Dra. Roberta Alessandra Bruschi Gonçalves Gloaguen, MSc. Rogério Pereira da Silva Airoldi, MSc. Sérgio Weine Paulino Chaves, Wagner de Oliveira e MSc. Waleska Martins Eloi, pela amizade e momentos de descontração que facilitaram a realização deste trabalho;

A bibliotecária Eliana Maria Garcia, pelo auxílio na correção das referências bibliográficas e formatação do texto;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

À empresa Citrograf Mudas, pela parceria, fornecimento dos porta-enxertos, insumos, instalações e colaboradores para a realização deste trabalho;

À todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

Filho meu, não te esqueças
dos meus ensinos,
e o teu coração guarde
os meus mandamentos;
porque eles aumentarão os teus dias
e te acrescentarão anos de vida e paz.
Não te desamparem a benignidade
e a fidelidade;
ata-as ao teu pescoço;
escreve-as na tábua do teu coração
e acharás graça e boa compreensão
diante de Deus e dos homens.

(Provérbios 3.1-4)

SUMÁRIO

RESUMO....9
ABSTRACT....11
LISTA DE FIGURAS....12
LISTA DE TABELAS....14
1 INTRODUÇÃO....15
Referências....19
2 ANÁLISE DA DEMANDA HÍDRICA E CONSUMO DE FERTIRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTO CÍTRICO....24
Resumo....24
Abstract....25
2.1 Introdução....26
2.2 Desenvolvimento....35
2.2.1 Material e métodos....35
2.2.1.1 Localização e caracterização da área experimental....35
2.2.1.2 Instalação do experimento e condução....36
2.2.1.3 Irrigação....36
2.2.1.4 Fertirrigação....37
2.2.1.5 Manejo da irrigação e fertirrigação....38
2.2.1.6 Porta-enxertos utilizado e meio de cultivo....39
2.2.1.7 Análise estatística dos dados....41
2.2.1.8 Parâmetros avaliados....43
2.2.2 Resultado e discussão....44
2.3 Conclusões....54
Referências....54
3 PROJETO, CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM LISÍMETRO MÓVEL DE PESAGEM, COM CÉLULA DE CARGA HIDRÁULICA, PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE MUDAS CÍTRICAS....59
Resumo....59
Abstract....60

3.1 Introdução 61
3.2 Desenvolvimento 67
3.2.1 Material e Métodos 67
3.2.1.1 Local de construção e calibração do lisímetro 67
3.2.1.2 Critério utilizado para projetar o lisímetro 67
3.2.1.3 Construção da Estrutura de Pesagem Móvel 68
3.2.1.4 Construção do Contentor de Mudas Cítricas 71
3.2.1.5 Construção do Sistema de Pesagem 72
3.2.1.5.1 Sistema de Pesagem utilizando cilindro hidráulico 74
3.2.1.5.2 Sistema de Pesagem utilizando diafragma 76
3.2.1.6 Construção do Piezômetro 77
3.2.1.7 Construção do Sistema de Levantamento do Contentor de Mudas 79
3.2.1.8 Calibração do lisímetro 81
3.2.1.9 Análise da performance do lisímetro 82
3.2.2 Resultado e discussão 83
3.3 Conclusões 88
Referências 89
ANEXO 94

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UM LISÍMETRO MÓVEL DE PESAGEM E ANÁLISE DA DEMANDA HÍDRICA E DE NUTRIENTES NA PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTO CÍTRICO

Considerando o sistema atual de produção de mudas cítricas, este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos de diferentes níveis de irrigação e fertirrigação sobre o crescimento do porta-enxerto citrumelo 'Swingle' (*Citrus paradisi* x *Poncirus trifoliata*), propondo modelos matemáticos para se descrever estas interações, e desenvolver, construir e analisar a performance de dois lisímetros móveis de pesagem, utilizando-se célula de carga confeccionada com cilindro hidráulico em um e diafragma no outro. A primeira fase deste trabalho foi realizada utilizando-se porta-enxertos cultivados em container com substrato, sob condições de ambiente protegido, em um viveiro comercial situado no município paulista de Rio Claro. Utilizou-se o delineamento balanceado para vizinhança, composto por oito blocos, cada um com quatro linhas e quatro colunas, constituído-se 16 tratamentos, através da combinação de dois fatores, irrigação e fertirrigação. Foram avaliados os efeitos de níveis de irrigação e nutrientes sobre a taxa de crescimento relativo do porta-enxerto. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que o volume total de água de 9,838L.planta^{-1}, distribuídos ao longo dos 71 dias, e o fornecimento de (mg.planta^{-1}) 468,6 de NO_3, 20,9 de N-NH_4, 49,5 de P, 358,7 de K, 361,6 de Ca, 64,2 de Mg, 2,59 de Cu, 3,93 de Zn, 3,93 de Mn, 16,49 de Fe e 0,05 de Mo, parcelado em 21 fertirrigações, promoveram a maior precocidade de formação do porta-enxerto, quando comparados aos demais níveis. Os modelos matemáticos $TCR_D = 0{,}004636316 + 0{,}00001313791L - 0{,}00001160437N$ e $TCR_A = 0{,}03357119 + 0{,}00002852342L - 0{,}0007466065N + 0{,}000007850791N^2 - 0{,}00000002718364N^3$, foram validados, sendo TCR_D e TCR_A a taxa de crescimento relativo, em função do diâmetro e altura do caule, respectivamente, L e N uma porcentagem da quantidade de água e nutrientes, a ser aplicada, respectivamente. A segunda fase deste trabalho foi realizada no Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, em Piracicaba, SP. A solução encontrada para se viabilizar a lisimetria em casa de vegetação, com grupos de plantas muito heterogêneos, foi o emprego de uma estrutura móvel capaz de pesar, isoladamente, vários Contentores de Mudas. O número de contentores seria diretamente proporcional ao número de variedades cultivadas e estádio de desenvolvimento, enquanto que o número de estruturas móveis de pesagem seria função do número de contentores a ser pesado em um dado período. Concluiu-se neste trabalho que o lisímetro com cilindro hidráulico apresentou um desempenho insatisfatório, devido à detecção de histerese e lentidão de resposta. Todavia, o emprego de um diafragma proporcionou um desempenho superior ao do cilindro hidráulico, resultando na equação matemática V=0,0178.LR, onde V é o volume de água (L.planta^{-1}) e LR é a leitura piezométrica (mm). Esta equação apresentou um r^2 de 0,9971, indicando a excelente precisão do equipamento. Com um r^2 de 0,9975, originado da regressão entre o volume estimado e volume real, e um índice de Concordância (d) de 0,99926, o lisímetro apresentou excelente acurácia, com resolução de 0,45mm de lâmina de água. Sua mobilidade

permitiu o livre deslocamento entre bancadas de mudas, exigindo um único operador. O custo total estimado de construção de cada lisímetro foi de US$1.108,54.

Palavra-chave: muda cítrica, irrigação, nutrição mineral, superfície de resposta, lisimetria, célula de carga hidráulica

ABSTRACT

DESIGN OF A MOVABLE WEIGHING LYSIMETER AND ANALYSIS OF WATER AND NUTRIENTS DEMAND IN THE CONTAINER-GROWN CITRUS NURSERY ROOTSTOCK

The objective of this experiment was to evaluate the effects of different levels of irrigation and fertirrigation on the growth of the citrumelo 'Swingle' (*Citrus paradisi* x *Poncirus trifoliata*) rootstock, establishing mathematical models to describe these interactions and develop, construct and evaluate the performance of two movable weighing lysimeter, applying a hydraulic load cell made of hydraulical cylinder and diaphragm. The first trial studied the vegetative growth of containerized citrus rootstock, in a commercial screenhouse situated in Rio Claro, São Paulo State, Brazil. The experiment used the neighbor balanced design, composition of eight blocks, each one with four lines and four columns, consisting of 16 treatments, through the combination of two factors: irrigation and fertirrigação. The effect of irrigation and nutrients levels on the relative growth rate of rootstock was evaluated. The results showed that the water total of 9.838L/plant, distributed in 71 days, and the supply of (mg/plant) 468.6NO_3, 20.9N-NH_4, 49.5P, 358.7K, 361.6Ca, 64.2Mg, 2.59Cu, 3.93Zn, 3.93Mn, 16.49Fe e 0.05Mo, split application in 21 fertirrigation, promoted the precocity growth of rootstock, when compared with the other levels. The mathematical models was been validated, resulting in: $TCR_D = 0{,}004636316 + 0{,}00001313791L - 0{,}00001160437N$ and $TCR_A = 0{,}03357119 + 0{,}00002852342L - 0{,}0007466065N + 0{,}000007850791N^2 - 0{,}00000002718364N^3$, with TCR_D and TCR_A being the relative growth rate as a function of diameter and height, respectively, L and N were the percentage of the amount of water and nutrients applied, respectively. The second trial was conducted at the Department of Agricultural Engineering, at the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, in Piracicaba, São Paulo State, Brazil. The solution was to make a feasible use of lysimeter in actual citrus nursery production system in screenhouse, with high heterogeneous group of plants, was to use a movable structure, able to weight several containers of seedlings, sequentially. The number of container was function of number of varieties and development stage. The number of weighing structure was a function of the number of containers. From results, it was concluded that lysimeter with hydraulical cylinder presented an unsatisfactory performance, due to hysteresis and slowness of reply. However, the lysimeter with diaphragm presented a good performance, providing the mathematic equation V=0.0178LR, where V is the volume of water (L/plant) and LR is the piezometric reading (mm). The determination coefficient (r^2) was 0.9971, indicating an excellent adjustment of equipment. A regression between estimated and real volume, provide a r^2 of 0.9975 and Concordance Index (d) of 0.99926, indicated a excellent accuracy, with 0.45mm water depth resolution. The mobility of equipment allowed free movement between nursery benches, with just one operator. Total construction cost was US$1,108.54, for each lysimeter.

Keywords: citrus nursery trees, irrigation, fertirrigation, response surface, lysimetry, hydraulic load cell

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Vista aérea do viveiro comercial pertencente a Citrograf Mudas, Rio Claro, SP 35

Figura 2.2 - Distribuição dos tratamentos sobre a bancada de mudas e plantas utilizadas na determinação da evapotranspiração, através de pesagem 42

Figura 2.3 - Superfície de resposta para a variável TCR_D em função do nível de irrigação (L) e nutrientes (N).....47

Figura 2.4 - Superfície de resposta para a variável TCR_A em função do nível de irrigação (L) e nutrientes (N).....50

Figura 2.5 - Freqüência de irrigação e volume de água aplicado para repor 100% da evapotranspiração do porta-enxerto citromelo ‘Swingle’.....51

Figura 3.1 - Estrutura metálica tipo “T” Invertido (a), Arquitrave (b) e União Parafusada (c).....69

Figura 3.2 - Características da estrutura da roda (a) e Junta de Articulação do Garfo (b) 70

Figura 3.3 - Pontos de arraste manual (a) e Alavanca “T” com gancho (b).....70

Figura 3.4 - Características do Contentor de Mudas.....71

Figura 3.5 - Alavanca e sistema de forças atuantes.....72

Figura 3.6 - Estrutura metálica Estrela, com correntes e ganchos de conexão 74

Figura 3.7 - Canais de assentamento da trava do êmbolo e guarda-pó (a), cilindro hidráulico (b) e reparo (c).....75

Figura 3.8 - Haste do cilindro hidráulico 76

Figura 3.9 - Características do diafragma de borracha (a) e Suporte de Diafragma (b)..77

Figura 3.10 - Reservatório de Mercúrio (a), Armadura (b) e Régua(c).....78

Figura 3.11 - Características do Carretel Enrolador (a) e Trava da Catraca (b).....80

Figura 3.12 - Características do Sistema de Roldanas (a) e Suporte “H” (b) 81

Figura 3.13 - Características do Copo Raspador (a) e esquema de forças atuantes no Copo Raspador (b) 84

Figura 3.14 - Regressão linear entre a variação do volume de água e leitura da Régua (a) e volume estimado versus o real (b).....85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Concentração dos fertilizantes no tanque estoque.....38

Tabela 2.2 - Resultado das análises do substrato orgânico* 40

Tabela 2.3 - Percentagem de reposição da evapotranspiração do porta-enxerto.....41

Tabela 2.4 - Quantidades de nutrientes aplicados por porta-enxerto em cada fertirrigação 41

Tabela 2.5 - Volume total, médio semanal e lâmina média diária, em função dos níveis de irrigação adotados.....44

Tabela 2.6 - Quantidade de nutrientes aplicados em 21 fertirrigações 45

Tabela 2.7 - Análise de variância para a variável TCR_D 46

Tabela 2.8 - Análise de variância para a variável TCR_A 49

1 INTRODUÇÃO

A laranja esta entre as principais frutas cultivadas no mundo, sendo consumida *in natura*, como fruta de mesa, e na forma de sucos concentrados, pasteurizados ou frescos. Na industria é utilizada como matéria-prima para a fabricação de ácidos, óleos, fonte de pectina e estabilizadora para alimentos.

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de laranja (NEHMI et al, 2006), sendo que a consolidação desta atividade, nas últimas décadas, trouxe muitos benefícios para o país, tanto econômicos, como sociais. Por conseguinte, o desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias de produção devem tornar-se constante, de forma a promover o contínuo crescimento e fortalecimento deste agronegócio.

Para Boaventura et al. (2004), a produção de mudas cítricas em ambiente protegido e com tecnologia moderna é o início de uma nova citricultura, mais eficiente e capaz de garantir a continuidade, a competitividade e o crescimento do agronegócio citrícola brasileiro. Segundo Teófilo Sobrinho (1991), a boa formação, o vigor e a sanidade são três características que não devem faltar às mudas cítricas, sendo que a chave do sucesso na implantação de qualquer pomar comercial de citros consiste no plantio de mudas de alta qualidade.

Visando a melhoria da qualidade das mudas cítricas comercializadas no Estado de São Paulo, a Secretaria de Agricultura instituiu o “Programa de Certificação de Mudas Cítricas do Estado de São Paulo”, que determina o cultivo de mudas em ambiente fechado ou telado, utilizando-se recipientes com substrato e água desinfetados e materiais vegetais indexados para viroses e para a CVC (PANZANI et al., 1994).

Mudas com sanidade comprovada e comercializadas com certificado de origem têm viabilizado a produção de laranjas, principalmente em regiões paulistas severamente afetadas por doenças limitantes, como a Clorose Variegada dos Citros (CVC) e o Cancro-Cítrico. Ao serem produzidas em substratos livres de patógenos de

solo, há também uma redução na disseminação de outras doenças, como a gomose e os nematóides, igualmente limitantes à produção citrícola (BOAVENTURA et al., 2004). Além do melhor controle de pragas e doenças, o cultivo em ambiente protegido reduz os riscos provocados pelas adversidades climáticas, resultando em produção de mudas com intervalo de tempo menor.

Gomes (1989) cita que, geralmente, no método de produção de mudas cítricas em solo, sem a utilização de recipiente e ambiente protegido, havia a necessidade de aproximadamente 24 meses para que a planta estivesse em condições de ser transplantada para o campo definitivo e resultava em maiores custos de produção devido à prática de arrancamento. As mudas eram ainda submetidas ao traumatismo neste arrancamento, tinham o sistema radicular reduzido e exigiam maiores cuidados após o plantio no campo. Portanto, Girardi et al. (2005) relatam que o uso de substratos comerciais é considerado atualmente a maneira mais viável para se produzir mudas de citros.

Com relação à produção de mudas em recipientes, Platt e Opitz (1973) citam como vantagens o maior controle de pragas, doenças, fertilidade do substrato e ambiente, assim como a precocidade de produção da mudas.

De acordo com Mattos Junior et al. (1995), os substratos para produção de mudas envasadas apresentam diferentes misturas ou composições, recebendo normalmente fertilizantes naturais que fornecem os nutrientes necessários ao crescimento vegetal. Devido a estas misturas, os substratos possuem características físicas e químicas que exercem grande influência sobre o crescimento e vigor das plantas.

Segundo Davies e albrigo (1999), geralmente, o programa de nutrição de mudas cítricas tem como objetivo a indução do crescimento precoce, através da aplicação de altas doses de nutriente, principalmente de N, que propiciam um crescimento vigoroso.

Contudo, Bernardi et al. (2000) mencionam que o fornecimento de nutrientes em doses adequadas e balanceadas, além de estimular o crescimento máximo da muda, deve ser realizado de maneira que se reduza às perdas por lixiviação. Deste modo, seria necessário estabelecer as doses adequadas para tornar a produção economicamente viável e maximizar o crescimento, uma vez que os desequilíbrios

nutricionais podem acarretar prejuízo a muda, alterando inclusive a sua morfologia. Perin et al. (1999) também advertem que o emprego de vasos, ou recipientes com dimensões limitadas pode exigir maiores cuidados em relação ao manejo da irrigação e nutrição das plantas, sendo que Boaventura et al. (2004) ressaltam que, de modo geral, as perdas de nutrientes nos contêineres estão muito associadas ao manejo da irrigação e de nutrientes.

Contudo, poucos estudos sobre a nutrição de mudas cítricas cultivadas em vaso e em condições de ambiente protegido foram realizados no Brasil (BOAVENTURA et al., 2004; GIRARDI et al., 2005; RUSCHEL, 2002) e menos ainda sobre a demanda hídrica.

Atualmente, o manejo da irrigação destas mudas é realizado de forma empírica, na maioria dos viveiros, baseando-se simplesmente no conhecimento prático do produtor, devido principalmente à falta de informações técnicas.

Não obstante, o conhecimento da demanda hídrica de mudas de citros submetidas às estas condições de cultivo é essencial para se definir qualquer estratégia de manejo da irrigação. Principalmente quando se visa proporcionar condições para que estas possam expressar todo o potencial produtivo, reduzindo os custos de produção e promovendo o uso racional dos recursos naturais. Assim, torna-se necessário quantificar as perdas ocorridas através da evaporação da água do substrato e da transpiração da planta, que somadas constituem o que se convencionou denominar Evapotranspiração (ALLEN et al., 1998; CAMARGO; CAMARGO, 2000; DOORENBOS; PRUITT, 1977; KLOCKE et al., 1985; PEREIRA et al., 1997).

Segundo Allen e Fisher (1990), a determinação da evapotranspiração também é necessária para desenvolver e verificar equações de estimativas da Evapotranspiração de Referência, balanço de energia, coeficientes de cultura e avaliar outros métodos diretos de mensuração desta variável.

Pereira et al. (1997) relatam que a determinação da Evapotranspiração pode ser realizada de forma direta ou indiretamente, através de estimativas. Contudo, a utilização de lisímetro de pesagem é geralmente considerada a forma mais precisa de se determinar diretamente a evapotranspiração das plantas, sendo considerado o método padrão de calibração dos outros métodos (ABOUKHALED et al., 1982; ALLEN; FISHER, 1990; HOWELL et al., 1991; MESHKAT et al., 1999; RITCHIE; BURNETT, 1968).

Segundo Bhardwaj; Sastry (1979), os lisímetros tem sido utilizados no estudo da evapotranspiração das plantas desde o século XVII. Aboukhaled et al. (1982) narram que inicialmente, os lisímetros foram utilizados para estudar a taxa e a quantidade de água percolada, sendo posteriormente empregados em estudos sobre a qualidade química do soluto percolado e evapotranspiração.

O princípio de funcionamento do lisímetros de pesagem consiste na conversão de variações da massa de solo, ou substrato, em evaporação de água, dotação hídrica, drenagem ou evapotranspiração da planta. Khan et al. (1993) mencionam que, devido às características intrínsecas de cada estudo, numerosos lisímetros foram projetados e construídos, cada um baseando-se em uma exigência específica da cultura, solo, clima, disponibilidade de materiais, tecnologias, habilidade do usuário e custos envolvidos na construção.

Portanto, quando devidamente projetado, construído, instrumentado, manejado, operado e interpretado, os lisímetros de pesagem podem fornecer com precisão e representatividade a evapotranspiração em pequenos intervalos de tempo (ALLEN e FISHER, 1990). Aboukhaled et al. (1982) concordam com esta afirmação, mas ressaltam que, dependendo de sua complexidade e custo de construção, o emprego destes equipamentos podem ser restrito somente aos centros de pesquisas.

De acordo com Forsgate et al. (1965), os lisímetros de pesagem geralmente requerem mecanismos de custos elevados e complexos para gerar leituras com uma precisão aceitável, mesmo para um bloco de solo relativamente pequeno. Contudo, o emprego de lisímetro hidráulico pode ser uma alternativa viável para a determinação da evapotranspiração, uma vez que este funciona sobre o princípio da transmissão de pressão, sendo que neste caso, o maior custo envolvido na construção deste equipamento refere-se à construção do próprio recipiente que irá conter o solo.

Para Neale, et al. (1991), o lisímetro de pesagem hidráulica é um equipamento confiável e de custo relativamente baixo para a determinação da evapotranspiração e coeficientes de cultura (kc) nas condições de campo. Entretanto, a confiabilidade, qualidade e exatidão dos dados obtidos neste sistema dependerão dos cuidados tomados na construção e instalação, assim como da operação e manutenção do equipamento no campo.

Atualmente, os lisímetros que fornecem dados de evapotranspiração e drenagem, baseadas na variação de massa de um bloco de solo, têm sido muito utilizados em condições de campo (POSS et al., 2004) e ambiente protegido (ATARASSI, 2004; LANTHALER, 2004; MEIJER et al., 1985; ROSENBERG et al., 1989) para monitorar a demanda hídrica, o crescimento da cultura e fornecer informações necessárias aos estudos e tomada de decisão.

Nas últimas décadas, o cultivo em ambiente protegido tem sido muito utilizado no Brasil. No entanto, estudos referentes ao manejo da água em ambiente protegido são escassos (BRAGA e KLAR, 2000). Assim, Galvani et al., (1998) relatam que as alterações microclimáticas provocadas por este ambiente ainda não são satisfatoriamente conhecidas. Parâmetros como temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, evapotranspiração, vento, balanço de radiação e energia, são alterados, ora aumentando-os, ora reduzindo-os em relação às condições externas.

De acordo com Mattos Junior et al. (2003), também existe uma necessidade crescente de se rever às informações sobre nutrição de plantas cultivadas em condições de ambiente protegido, quando se visa conhecer as exigências da cultura, realizar a aplicação de doses adequadas e reduzir os riscos de contaminação do meio ambiente devido ao excesso de nutrientes aplicados. Zanetti et al. (2004) concordam ainda que a escolha do manejo mais apropriado para a nutrição de mudas cítricas, de formulações e de freqüências de aplicação tem sido realizada com base na experiência individual dos viveiristas, havendo carência na literatura de recomendações específicas para este novo sistema de produção de mudas.

Referências

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R.G.; FISHER, D.K. Low-cost electronic weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 6, p. 1823-1833, 1990.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)

ATARASSI, R.T. **Modelagem do balanço de energia do dossel da cultura do pimentão em casa de vegetação**. 2004. 70 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BERNARDI, A.C.C.; CARMELLO, Q.A.C.; CARVALHO, S.A. Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 733-738, 2000.

BHARDWAJ, S.P.; SASTRY, G. Development and installation of a simple mechanical weighing type lysimeter. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 4, p. 797-802, 1979.

BOAVENTURA, P.R.R.; 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, Ago. 2004.

BRAGA, M.B.; KLAR, A.E. Evaporação e evapotranspiração de referência em campo e estufa orientadas nos sentidos norte-sul e leste-oeste. **Irriga**, Botucatu, v. 5, n. 3, p. 222-228, 2000.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. **Cítricos**. Zaragoza: Acribia. 1999. 283 p.

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

FERNANDES, C.; CORÁ, J.; ARAÚJO, J.A.C. Utilização do Tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência dentro de casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 46-50, 2004

FORSGATE, J.A.; HOSEGOOD, P.H.; McCULLOCH, J.S.G. Design and installation of semi-enclosed hydraulic lysimeters. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 2, p. 43-52, 1965.

GALVANI, E.; DANTAS, R.T.; ESCOBEDO, J.F.; KLOSOWSKI, E.S. Parâmetros meteorológicos em cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em casas de vegetação com orientações Leste-Oeste, Norte-Sul e condições externas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 157-63, 1998.

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**, Abingdon, v. 28, p. 1465-1480, 2005.

GOMES, M.P. Mudas em containers. Uma ótima opção. **Revista Cutrale**, Araraquara, n. 1, p. 6, 1989.

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; JENSEN, M.E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 1-9.

KHAN, B.R.; MAINUDDIN, M.; MOLLA, M.N. Design, construction and testing of a lysimeter for a study of evapotranspiration of different crops. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 23, p. 183-197, 1993.

KLOCKE, N.L.; HEERMANN, D.F.; DUKE, H.R. Measurement of evaporation and transpiration with lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 1, p. 183-189, 192. 1985.

LANTHALER, C. **Lysimeter stations and soil hydrology measuring sites in Europe-purpose, equipment, research results, future developments**. 2004. Diploma thesis (Magistra der Naturwissenschaften) - School of Natural Sciences at the Karl-Franzens-University Graz, Graz, 2004. Disponível em: <http://www.lysimeter.at/>. Acesso em: 18 out. 2005.

MATTOS JÚNIOR, D.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A.K. Nutrient content of biomass components of Hamlin sweet orange trees. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 155-160, jan./mar. 2003.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J.A.; CARVALHO, S.A.; ABREU, M.F. Substratos para a produção de mudas cítricas em recipientes: caracterização da toxicidade de boro. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 16, n. 1, p. 255-262, 1995.

MEIJER, J.; BOTH, G.P.A.; STANGHELLINI, C.; UDINK TEN CAMT, A.J. Development and application of a sensitive, high precision weighing lysimeter for use in greenhouses. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v. 32, p. 321-336, 1985.

MESHKAT, M.; WARNER, R.C.; WALTON, L.R. Lysimeter design, construction, and instrumentation for assessing evaporation from a large undisturbed soil monolith. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 15, n. 4, p. 303-308, 1999.

NEALE, C.M.U.; KRUSE, E.G.; YODER, R.E. Field experience with hydraulic weighing lysimeters. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN,

M.E. (Ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p.160-169.

NEHMI, I.M.D.; FERRAZ, J.V.; NEHMI FILHO, A. (Coord.). Laranja. In: FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2006**: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo, 2006. p. 209-220.

PANZANI, C.R.; PRATES, H.S.; GREVE, A. Sistema de produção de muda certificada de citros no Estado de São Paulo. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v.15, n.1, p.175-199, 1994.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ. 1997, 183 p.

PERIN, J.R.; CARVALHO, S.A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. Efeito de substratos e doses de fertilizante de liberação lenta no teor de clorofila e desenvolvimento vegetativo do limoeiro cravo em tubetes. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 20, n. 2, p. 463-476, 1999.

PLATT, R.G.; OPITZ, K. Propagation of citrus. In: REUTHER, W. (Ed.). **The citrus industry**. Berkeley: University of California, 1973. v. 3, p. 1-47.

POSS, J.A.; RUSSELL, W.B.; SHOUSE, P.J.; AUSTIN, R.S.; GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M.; LIETH, J.H.; ZENGA, L. A volumetric lysimeter system (VLS): an alternative to weighing lysimeters for plant–water relations. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 43, p. 55-68, 2004.

RITCHIE, J.T.; BURNETT, E. A precision weighing lysimeter for row crop water used studies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p. 545-549, 1968.

ROSENBERG, N.J.; McKENNEY, M.S.; MARTIN, P. Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and a simulation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 47, p. 303-320, 1989.

RUSCHEL, J. **Crescimento e estado nutricional de mudas de citros influenciadas pela adubação com nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio**. 2002. 69 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

TEÓFILO SOBRINHO, J. Propagação de citros. In: RODRIGUEZ, O. (Ed). **Citricultura Brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v.1, p.281-301.

ZANETTI, M.; CAZETTA, J.O.; MATTOS JUNIOR, D.; CARVALHO, S.A. Influência do extrato pirolenhoso na calda de pulverização sobre o teor foliar de nutrientes em limoeiro 'Cravo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n 3, p. 529-533, dec. 2004.

2 ANÁLISE DA DEMANDA HÍDRICA E CONSUMO DE FERTIRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTO CÍTRICO

Resumo

Atualmente, a muda cítrica é considerada um dos insumos mais importantes para a formação de um pomar de citros. Para se garantir a sanidade destas plantas, o governo paulista editou normas, proibindo a produção, comercialização e o trânsito de mudas, provenientes de ambiente não protegido. Neste novo sistema de produção, as mudas são cultivadas normalmente em container com substrato comercial, recebendo toda a dotação hídrica através de irrigação, enquanto que a nutrição é realizada através da fertirrigação, adubos de liberação controlada e adubação foliar. Não obstante, existe ainda a necessidade de se realizar estudos sobre a demanda hídrica, doses, concentração e parcelamento de fertilizantes, que proporcionem condições para que a planta expresse todo o seu potencial produtivo neste ambiente. Por conseguinte, este trabalho teve com objetivo estudar os efeitos de diferentes níveis de irrigação e fertirrigação sobre o crescimento do porta-enxerto citrumelo 'Swingle' (*Citrus paradisi* x *Poncirus trifoliata*), submetido ao atual sistema de produção de mudas, propondo modelos matemáticos para se descrever estas interações. Para tanto, este experimento foi instalado em uma casa de vegetação, coberta com filme plástico transparente, circundada com telado anti-afídeos nas laterais, pertencente a um viveiro de mudas comercial, situado no município paulista de Rio Claro. Os porta-enxertos foram cultivados em sacolas cilíndricas de polietileno preto, com capacidade para 5L, contendo 2,8kg de substrato comercial à base de casca de Pinus. A dotação hídrica e a fertirrigação foram realizadas através de dois sistemas independentes de irrigação por gotejamento, utilizando se gotejadores autocompensantes, cuja vazão era distribuída entre quatro porta-enxertos. Utilizou-se o delineamento balanceado para vizinhança, composto por oito blocos, cada um com quatro linhas e quatro colunas. Constituiu-se 16 tratamentos, através da combinação de dois fatores, irrigação, com reposição de 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração do porta-enxerto (Etc), e fertirrigação, com aplicação de 50, 75, 100 e 125% dos seguintes totais de nutriente (mg.planta^{-1}): 937,3 de NO_3, 41,9 de N-NH_4, 99,0 de P, 717,5 de K, 723,2 de Ca, 128,5 de Mg, 5,18 de Cu, 7,87 de Zn, 7,87 de Mn, 32,99 de Fe e 0,10 de Mo. Foram avaliados os efeitos destes níveis de irrigação e nutrientes sobre a taxa de crescimento relativo do porta-enxerto. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que a reposição de 125% da Etc, que resultou na aplicação de um volume total de água de 9,838L.planta^{-1}, distribuídos ao longo dos 71 dias de experimento, e o fornecimento (mg.planta^{-1}) de 468,6 de NO_3, 20,9 de N-NH_4, 49,5 de P, 358,7 de K, 361,6 de Ca, 64,2 de Mg, 2,59 de Cu, 3,93 de Zn, 3,93 de Mn, 16,49 de Fe e 0,05 de Mo, parcelado em 21 fertirrigações, promoveram a maior precocidade de formação do porta-enxerto citrumelo ‘Swingle', quando comparados aos demais níveis. Os modelos matemáticos propostos para estimativa do crescimento do porta-enxerto, a partir da aplicação de níveis de água e nutrientes, foram validados. Tais

modelos foram descritos por $TCR_D = 0{,}004636316 + 0{,}00001313791L - 0{,}00001160437N$ e $TCR_A = 0{,}03357119 + 0{,}00002852342L - 0{,}0007466065N + 0{,}000007850791N^2 - 0{,}00000002718364N^3$, em que, TCR_D é a taxa de crescimento relativo com relação ao diâmetro do caule do porta-enxerto, TCR_A é a taxa de crescimento relativo em função da altura do porta-enxerto, L é a porcentagem de reposição da Etc, entre 50 e 125%, e N é a porcentagem do nível de nutrientes estudado, entre 50 e 125%.

Palavra-chave: mudas cítricas, irrigação, nutrição mineral, superfície de resposta

Abstract

Analysis of water and nutrients demand of citrus nursery trees in screenhouse

Currently, the citrus nursery tree is considered one of the factors most important for the formation of a citrus orchard. With the objective of ensure the citrus sanity, the Department of Agriculture and Food Supply of the State of São Paulo published the legal regulations, that forbids the production, commercialization and the transit of citrus nursery tree that was not grown in screened environments. In this actual production system, the citrus nursery trees grow in containers with commercial substrate, receiving all the water for irrigation and mineral nutrients for fertirrigation, slow-release encapsulated fertilizers and foliar fertilization. However, few studies have been done with respect to the water demand, levels, concentration and split application of fertilizers that provide excellent conditions for the potential growth of citrus nursery trees in screened environments, reducing the production costs and assisting in the decision making. Therefore, this experiment evaluated the effect of different levels of irrigation and fertirrigation on the growth of the citrumelo 'Swingle' (*Citrus paradisi* x *Poncirus trifoliata*) rootstock, establishing mathematical models to describe these interactions. The experiment was conducted in a commercial screenhouse for production of certified citrus nursery trees situated in Rio Claro, São Paulo State, Brazil. The experiment used the neighbor balanced design, composition for eight blocks, each one with four lines and four columns, consisting 16 treatments, through the combination of two factors, irrigation with application of 50, 75, 100 and 125% of the rootstock evapotranspiration (Etc) and fertirrigation with application of 50, 75, 100 e 125% of the nutrient totals (mg/plant): 937.3NO_3, 41.9 N-NH_4, 99.0P, 717.5K, 723.2Ca, 128.5Mg, 5.18Cu, 7.87Zn, 7.87Mn, 32.99Fe e 0.10Mo. The effect of irrigation and nutrients levels on the relative growth rate of rootstock was evaluated. The results showed that the replacement of 125% of the Etc, which is equivalent to a water total of 9.838L/plant, distributed in 71 days, and the supply

of (mg/plant) 468.6NO_3, 20.9N-NH_4, 49.5 P, 358.7K, 361.6Ca, 64.2 Mg, 2.59Cu, 3.93Zn, 3.93Mn, 16.49Fe e 0.05Mo, split application in 21 fertirrigation, promoted the precocity growth of rootstock, when compared with the other levels. The mathematical models was been validated, resulting in: $TCR_D = 0{,}004636316 + 0{,}00001313791L - 0{,}00001160437N$ and $TCR_A = 0{,}03357119 + 0{,}00002852342L - 0{,}0007466065N + 0{,}000007850791N^2 - 0{,}00000002718364N^3$, with TCR_D and TCR_A being the relative growth rate, in function of diameter and height, respectively, L and N being a percentage of between 50-125% of the replacement of Etc and nutrients applied, respectively.

Keywords: citrus nursery trees, irrigation, fertirrigation, response surface

2.1 Introdução

A citricultura é uma atividade de grande importância econômica e social para o Brasil, gerando divisas e postos de trabalho. Com a expansão do parque citrícola brasileiro, necessidade de renovação de pomares e o surgimento de novas doenças e pragas, torna-se evidente a importância da produção de mudas cítricas sadias e com qualidade.

De acordo com Teófilo Sobrinho (1991), desde a sua introdução no Brasil, realizada pelos colonizadores portugueses, por volta de 1540, até o final do século IXX, as plantas cítricas foram propagadas por sementes. Somente no início do século XX, quando a citricultura brasileira alcançou expressão comercial e com o conhecimento das vantagens da enxertia, passou-se a utilizar plantas enxertadas.

Pompeu Júnior (1991) e Teófilo Sobrinho (1991) relatam que a enxertia é o método mais utilizado devido às muitas vantagens que apresenta, como a obtenção de plantas uniformes, precocidade de início de produção, aumento da produtividade e qualidade e maior resistência, ou tolerância, às condições desfavoráveis de clima, solo, pragas e moléstias.

A propagação do porta-enxertos cítricos, no entanto, é realizada principalmente através de sementes, sendo estes comumente poliembriônicos, estando sujeitos à ocorrência de variabilidade e à produção tanto de indivíduos geneticamente diferentes da planta matriz, como de plantas nucelares (ROCHA et al., 1988).

Devido ao ciclo e o caráter perene da cultura, Teófilo Sobrinho (1991) argumenta que a muda é um dos insumos mais importantes para a formação de um pomar de citros, uma vez que o potencial máximo de produtividade e de qualidade das frutas se apresentará somente de seis a oito anos após o plantio, enquanto que para se conhecer à longevidade do pomar seria necessário um período ainda maior.

Para se garantir a sanidade destas mudas, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo instituiu em 1994 o Programa de Certificação de Mudas de Citros, que cominou com a consolidação de normas que proíbem a produção, comercialização e trânsito de mudas cítricas provenientes de ambiente não protegido (CARVALHO, 2003).

Nos Estados Unidos da América, a produção de mudas de citros em ambiente protegido, cultivadas em vaso, iniciou-se a partir de 1977. Entre os motivos que levaram os produtores de muda a adotar este sistema de produção, cita-se a produção de mudas de melhor qualidade, livres de pragas e doenças, principalmente de *Phytophothora sp*, comum em mudas cultivadas no campo, vantagens associadas ao cultivo em ambiente protegido, que diminui os riscos das adversidades climáticas, propiciando um crescimento mais precoce, uniforme e controlado das mudas, facilidades de manejo das mudas e melhor pegamento após o transplantio e aumento da população de plantas por área cultivada (CASTLE et al., 1980; CASTLE; FERGUSON, 1982).

Valle (2002) relata que, no Brasil, a existência de viveiros de mudas cítricas, mantidos a céu aberto e na presença de cigarrinhas transmissoras, seria o principal fator responsável pelo o agravamento do cenário da Clorose Variegada dos Citros (CVC) em São Paulo, enquanto que a comercialização de mudas infectadas teria provocado a disseminação da doença para regiões anteriormente livres desta doença.

Com a elaboração de normas que exigem a produção de mudas cítricas em ambiente protegido, inspeções realizadas em 568 viveiros em dezembro de 2005 constataram que, dos 13.149.652 de mudas e 9.442.282 de porta-enxertos produzidos, somente 0,014 e 0,039% eram produzidos em viveiros abertos, respectivamente (FUNDECITRUS, 2006).

Não obstante, Martins et al. (1998) lembra que para se obter a melhor resposta da cultura ao manejo em ambiente protegido, é imprescindível conhecer as condições

necessárias para que a planta tenha um bom crescimento e desenvolvimento. As interações entre planta, ambiente e práticas fitotécnicas utilizadas geralmente condicionam respostas quantitativas, principalmente de produtividade e qualidade.

De acordo com Girardi et al. (2001), diversas práticas culturais, da adubação ao sistema de forçamento da enxertia, interagem de forma complexa para determinar o desenvolvimento efetivo da muda cítrica no viveiro.

O microclima no interior destes ambientes protegidos é um dos fatores que mais influencia o comportamento e a demanda hídrica das plantas. MONTERO et al. (1985) relata que as paredes da casa de vegetação são efetivas barreiras contra o vento, sendo que, geralmente, as temperaturas diurnas são maiores no interior destas instalações, quando comparada ao exterior, enquanto que as temperaturas noturnas são semelhantes. A evaporação da água e a radiação solar, por sua vez, são menores no interior da casa de vegetação, quando comparadas as do exterior.

Assim como o ambiente protegido, o sistema atual de produção de mudas cítricas em vasos, ou sacolas plásticas, com o emprego de substratos interfere no comportamento da muda cítrica. Soares (2003) cita que o crescimento destas plantas é influenciado pelo volume limitado do recipiente, pela fertilidade e características físicas do substrato.

Girardi et al. (2001) ressaltam que a capacidade do recipiente esta diretamente relacionada à disponibilidade de recursos como água e nutrientes à planta e acomodação do sistema radicular, sendo um fator decisivo para determinação da velocidade de crescimento do porta-enxerto e da muda.

Portanto, o controle da disponibilidade dos nutrientes é um dos aspectos que deve merecer rigorosa atenção devido a este pequeno volume de substrato disponível para o desenvolvimento das raízes, as altas taxas de lixiviação e ao uso de substratos esterilizados (PERIN et al., 1999).

Geralmente, todo material sólido, natural, sintético, residual, ou mineral orgânico, que não seja solo, na forma pura, ou em mistura, que permite o desenvolvimento do sistema radicular, funcionando como suporte para a planta, pode ser considerado substrato (ABAD; NOGUERA, 1988).

Características físicas e químicas adequadas são extremamente importantes para a produção de mudas de citros em recipientes com estes materiais, o que na prática não se obtém com grande facilidade, exigindo geralmente uma suplementação com fertilizantes (ESPOSTI; SIQUEIRA, 2004) e correção do pH (SOUZA, 1983).

O emprego de substratos comerciais, que recebem corretivos e fertilizantes durante a sua confecção, é considerado atualmente a forma mais viável de se produzir mudas em casa de vegetação, uma vez que este tipo de material pode ser ajustado às necessidades nutritivas da planta, através da aplicação de doses nutrientes (GIRARDI et al., 2005).

Segundo Zanetti et al. (2004), no sistema atual de produção de mudas, nos quais altas taxas de crescimento das plantas são obtidas em curto espaço de tempo, torna-se essencial à suplementação mineral, via adubação.

Mattos Junior et al. (1995) lembram que a composição inadequada de nutrientes nos substratos empregados na produção inicial de mudas de citros em ambiente protegido pode provocar desordens nutricionais nas plantas, inibindo seu potencial produtivo.

Logo, Girardi et al. (2001) acreditam que o emprego de níveis nutritivos adequados poderia resultar em uma maior eficiência da produção de mudas nestes substratos.

Maust e Williamson (1999) citam que a nutrição mineral encontra-se entre as principais etapas da produção de mudas de citros em ambiente protegido. Neste sistema, onde existem elevadas densidades de plantas e ocorre um crescimento vegetativo muito acelerado, o nitrogênio é considerado o elemento mais importante, na maioria os programas de adubação.

Assim como o nitrogênio, Hanlon et al. (1995) afirmam que o cálcio, boro, fósforo e potássio estão entre os nutrientes mais importantes, consumidos pelos citros.

De acordo com Davies e Albrigo (1999), entre os macronutrientes, ou seja, aqueles requeridos em grandes quantidades pelos citros, encontram-se o N, P, K, Mg, Ca e S, enquanto que entre os macronutrientes estão o Mn, Cu, Zn, B, Fe e Mo. Tais nutrientes são essenciais para assegurar o adequado funcionamento metabólico da planta e garantir uma produção uniforme. O nitrogênio participa da composição dos

aminoácidos e proteínas, influenciando o desenvolvimento e crescimento, sendo considerado o elemento mais importante para crescimento de citros jovens. O fósforo é essencial ao funcionamento adequado do sistema energético das células e como componente estrutural da mesma. O potássio atua na regulagem do equilíbrio iônico da célula. O magnésio é indispensável a muitas reações enzimáticas, enquanto que o cálcio participa de atividades enzimáticas, transporte de metabólitos, sendo um componente essencial da estrutura da parede celular. O enxofre é um componente essencial das proteínas e enzimas. Por sua vez, os micronutrientes, como o próprio nome sugere, esta presente nas plantas em quantidades muito pequenas, todavia, assim como os macronutrientes, são extremamente importantes para planta, atuando no funcionamento adequado das enzimas.

Para Ruschel (2002), um dos principais problemas enfrentados na produção de mudas de citros em vasos é a determinação da quantidade de nutriente a ser colocada à disposição da planta, no período de maior exigência, de forma a se reduzir o período de formação destas muda.

Castle e Ferguson (1982) relatam que em viveiros norte americanos, era comum a aplicação de elevadas doses de fertilizantes para propiciar a precocidade de produção das mudas cítricas, através da indução de um crescimento vigoroso.

Contudo, Castle e Rouse (1990) afirmam que a aplicação destas doses tinha fundamentos empíricos, uma vez que a adubação se baseava nos mesmos princípios utilizados para mudas cultivadas no campo, as quais extraiam quase o triplo de nutrientes daquelas produzidas em substratos. Neste sistema de produção em vaso, a quantidade de nutrientes absorvida por mudas cítricas representava de 5 a 20% do total de nutrientes aplicados, indicando que a maior parte era perdida por lixiviação.

Desta forma, Maust e Williamson (1999) citam que a melhoria da eficiência de aplicação dos nutrientes torna-se necessária quando se visa à redução dos custos de produção de mudas cítricas e riscos de contaminação do solo e lençol freático.

Segundo Zanetti et al. (2004), dentre as alternativas de manejo da adubação, isoladamente ou associados, estão os adubos de liberação controlada, a adubação foliar e o fornecimento de nutrientes ao substrato via água de irrigação.

Girardi et al. (2001) avaliaram as influências da aplicação de fertirrigação e fertilizantes de liberação lenta sobre o crescimento da laranjeira 'Valença' (*Citrus sinensis*, L Osbeck), enxertada em limão ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), cultivada em substratos de casca de Pinus, com adição ou não de adubação corretiva, sendo estes do tipo comercial e inerte, respectivamente. De acordo com os seus resultados, o comprimento, diâmetro, área foliar, massa fresca e seca da copa não foram significativamente afetadas pela fonte de nutrientes. Entretanto, a fertirrigação induziu o maior desenvolvimento do sistema radicular, resultando em maior produção de massa fresca e seca de raízes, quando as mudas foram cultivadas em substrato comercial.

Boaventura et al. (2004) também estudaram as perdas de nutrientes na produção de mudas cítricas, cultivadas em substrato sob condições de ambiente protegido, comparando dois sistemas de manejo da fertilização, através de fertirrigação e fertilizantes de liberação lenta. Os resultados obtidos por estes autores indicaram que as perdas de N, P e K por lixiviação foram, respectivamente, de 8; 12 e 26% para a fertirrigação e 7; 10; 56%, para os fertilizantes de liberação lenta, portanto próximas, com exceção do potássio, cujas doses aplicadas foram diferentes entre os sistemas de manejo. Da mesma forma, as quantidades de nutrientes absorvidos também foram semelhantes, com exceções do potássio, manganês e zinco. Assim sendo, recomendaram que a estratégia de seleção do sistema de adubação deveria considerar principalmente a questão dos custos dos fertilizantes, uma vez que a principal vantagem apontada para os fertilizantes de liberação lenta, que consiste em se diminuir as perdas por lixiviação, não foi observada nesse trabalho.

Em alguns países, como os Estados Unidos, Israel e Itália, a fertirrigação tornou-se uma técnica de uso generalizado, principalmente com o desenvolvimento de modernos sistemas de irrigação e pela qualidade dos fertilizantes líquidos. No Brasil, somente há alguns anos é que a fertirrigação tem-se firmado como técnica, devido principalmente à difusão de novas tecnologias em irrigação, a introdução de fertilizantes líquidos no mercado, o custo crescente da mão-de-obra e a necessidade de aumentar a eficiência de utilização de insumos e implementar a produtividade dos sistemas de produção agrícola (COELHO, 1994).

Entretanto, Ferreira Neto (2005) cita que o emprego desta tecnologia vem acontecendo sem um respaldo técnico/científico, devido à escassez de resultados de pesquisa nas condições brasileiras, em conseqüência da introdução da técnica antes dos estudos científicos.

Duenhas et al. (2002) mencionam que apesar de existirem publicações sobre a aplicação de fertilizantes via água de irrigação, constatou-se que ainda existe a necessidade de pesquisa sobre doses, concentração e parcelamento de fertilizantes para as culturas, uma vez que existem muitas variáveis envolvidas no emprego dessa técnica.

Assim sendo, Zanetti et al. (2004) reportam que a escolha do manejo mais apropriado, de formulações e de freqüências de aplicação da adubação ainda tem sido realizada com base na experiência individual dos viveiristas.

De acordo com Lea-Cox e Smith (1997), nos substratos com elevada porosidade, o movimento lateral de nutriente, assim como da água, tende a ser bastante reduzido, enquanto que aqueles que apresentam menor porosidade estão propensos a menor aeração e desenvolvimento das raízes.

Desta forma, a perda de nutrientes e água por percolação profunda estão diretamente relacionadas às características do substrato e intensidade de aplicação, sendo que Boaventura et al. (2004) não observaram correlações significativas entre as concentrações e o volume de solução lixiviada.

Em ambiente protegido, onde a dotação hídrica é realizada exclusivamente através da irrigação, o conhecimento da demanda hídrica é essencial para se promover às condições necessárias para que a planta expresse todo o seu potencial produtivo.

Como cultura perene, a resposta dos citros ao suprimento de água em determinado período de desenvolvimento dependerá muito do nível de suprimento de água antes do referido período (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Davies e Albrigo (1999) relatam que o estresse hídrico em citros manifesta de varias maneiras, provocando a redução do crescimento da planta, murchamento das folhas, diminuição da condutância estomática, assimilação de CO_2, condutância radicular e, segundo Medina et al. (1998), depressão da fotossíntese.

Sob altas temperaturas e taxas elevadas de evaporação, a transpiração dos citros excede freqüentemente a quantidade de água absorvida pelas raízes, resultando temporariamente em déficits hídricos excessivos, mesmo quando bem irrigados. (COHEN et al., 1997).

De acordo com Davies e Albrigo, (1999), o manejo da irrigação em citros somente teria êxito se a amplitude e a duração do estresse hídrico fosse minimizado.

Os estudos sobre demanda hídrica, em cultivo realizados em container com substrato, revelaram que as plantas com elevado consumo de água tinham um melhor desempenho quando as irrigações eram realizadas com maior freqüência, conseqüentemente, com menor volume de água aplicado, e quando o substrato possuía uma capacidade de armazenamento de água acima de 30% e quantidade de macroporos ao redor de 20% (RIVIERE et al., 1990).

Francescato (1995), avaliando o desenvolvimento do porta-enxerto limão ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck) quando submetido a diferentes freqüências de irrigação, substratos e adubo de liberação lenta, concluiu que a irrigação diária resultou no aumento do pH do substrato e na redução da condutividade elétrica.

Quando a quantidade de água aplicada excede a necessidade da cultura, o lucro diminui linearmente com o aumento da quantidade de água (HART et al., 1979, apud BERTONHA, 1997).

Geralmente, a relação entre produtividade e água aplicada pode ser considerada linear, até, aproximadamente, 50% da quantidade de água que resulta na máxima produção (HARGREAVES; SAMANI, 1984, apud BERTONHA, 1997).

Para maiores quantidades de água, a função começa a declinar, refletindo as perdas de água que ocorrem próximo da condição de irrigação sem déficit (HART et al., 1979 e ENGLISH, 1990, apud BERTONHA, 1997).

Martínez (2002), apud Soares (2003), afirma que no emprego de substratos com elevada porosidade total e alta capacidade de aeração, a maior dificuldade consiste em se manter uma disponibilidade suficiente de água em todo o ciclo de cultivo, sem grandes perdas por drenagem em sistemas abertos. Dada a importância de se conseguir uma homogênea distribuição de água e nutrientes em todo o volume do substrato, recomenda-se como prática usual à irrigação em excesso, que por um lado

assegura que a solução chegue a todas as partes, compensando irregularidades da irrigação e, por outro, retira restos de solução anterior, cujo equilíbrio iônico tenha sido modificado pela absorção seletiva das plantas. Para tanto, recomenda-se que tal excesso de água deveria ser de no mínimo 15 a 20%.

Olic et al. (2001), avaliando o desenvolvimento de mudas de laranjeira ‘Valência’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck) sobre limão ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), submetidas a diferentes volumes de irrigação em casa de vegetação, reportaram que a reposição hídrica de 125 e 100% da evapotranspiração da planta induziu a produção de mudas com maior comprimento e diâmetro do caule, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e radicular. As plantas que receberam apenas 25% de reposição tiveram que ser descartadas da avaliação, por não terem atingido o desenvolvimento vegetativo adequado para a enxertia, como as demais, que foram submetidas à reposição de 125, 100, 75 e 50%. A despeito disso, os níveis de irrigação estudados não influenciaram a concentração de nutrientes na folha.

De modo geral, as perdas de nutrientes nos contêineres de mudas cítricas estão muito associadas ao manejo da irrigação e de nutrientes, que podem ser aplicados através de fertilizantes sólidos solúveis ou de liberação lenta. Neste tipo de cultivo, existe a tendência de acúmulo de sais no substrato, principalmente nas épocas mais quentes, quando aumentam as perdas de água por evaporação (BOAVENTURA et al., 2004), sendo a drenagem profunda destes sais, através da aplicação de lâminas de irrigação superiores à capacidade de container, a alternativa preconizada para controle deste problema.

Não obstante, existem atualmente poucas informações disponíveis na literatura sobre a interação entre demanda hídrica e de fertirrigação em cultivos de mudas cítricas. Tais informações podem ser consideradas indispensáveis aos viveiristas que busca aumentar a eficiência de produção. Portanto, este trabalho teve com objetivo estudar os efeitos de diferentes níveis de irrigação e fertirrigação sobre o crescimento do porta-enxerto citrumelo 'Swingle', cultivado em sacola plástica com substrato, sob condições de ambiente protegido, propondo-se modelos matemáticos para descrever estas interações.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Material e métodos

2.2.1.1 Localização e caracterização da área experimental

Este trabalho foi realizado entre os dias 17 de outubro de 2005 e 10 de janeiro de 2006, em um viveiro comercial pertencente à empresa Citrograf Mudas, localizado no Sítio Viveiro do Horto, Bairro Camaquã, em Rio Claro, SP (Figura 2.1), sendo que este município se situa no Centro-Leste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 22°05' S e 22°40' S, 47°30' W e 47°55' W.

Figura 2.1 - Vista aérea do viveiro comercial pertencente a Citrograf Mudas, Rio Claro, SP

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cwa, quente e úmido, com inverno seco, apresentando temperaturas superiores à 22°C no mês mais quente, entre 3 e 18°C no mês mais frio e com média anual de 18,1 a 20,9^{o}C (MONTEIRO, 1973).

2.2.1.2 Instalação do experimento e condução

O experimento foi instalado em uma casa de vegetação, com 103, 26 e 6m de comprimento, largura e altura, respectivamente, coberta com filme plástico transparente e circundada com telado anti-afídeos, de malha 1mm^2, nas laterais.

O acesso a este ambiente era restrito e resguardado por uma antecâmara, com pedilúvio na entrada.

As plantas eram cultivadas em sacolas plásticas, dispostas sobre bancadas de concreto armado, com 0,4m de altura, que abrigava 8 mudas em 1,30m de largura.

Esta casa de vegetação atendia todas as exigências da legislação paulista para a produção de mudas de citros (CARVALHO, 2003).

2.2.1.3 Irrigação

Neste trabalho, utilizou-se na irrigação água de origem subterrânea, obtida em um poço tubular profundo, sendo previamente dessalinizada por um equipamento de osmose reversa. Após passar pelo dessalinizador, a água era conduzida a um reservatório 1000L, instalado próximo às bancas de mudas e no lado externo da casa de vegetação.

O sistema de irrigação era pressurizado através de um motobomba com rotor de palhetas radiais, marca KSB, modelo P1000, de 1,0cv de potência, com uma altura manométrica total de 10 a 90mca. e vazão de até 0,0006167 m^3.s^{-1}.

O sistema de irrigação possuía um painel de controle, marca Galcon, modelo AC6S 8056 e válvulas elétricas com solenóide, que permitiam programar o tempo de irrigação por setor, com duração de 1 segundo a 12 horas.

As mudas cítricas foram irrigadas por gotejamento, utilizando-se gotejadores autocompensantes, marca Naandan, modelo Click Tif-PC, com vazão de 4L.h^{-1}, instalados em tubos de polietileno linear (PELBD), com espaçamento de 0,15m entre emissores, que trabalhavam sob pressão de serviço de 20m.c.a. A vazão de cada

gotejador foi distribuída entre quatro mudas, utilizando-se adaptador de quatros saídas, microtubos de polietileno e estaca gotejadora.

2.2.1.4 Fertirrigação

Para a realização da fertirrigação, foi necessário empregar um outro equipamento, semelhante ao adotado para irrigação. Este sistema de irrigação permitiu o manejo da fertirrigação, independentemente da irrigação, respeitando-se assim o delineamento experimental. Desta forma, cada sacola com muda recebia dois emissores, um para aplicação da irrigação e outro para a fertirrigação.

Uma solução denominada padrão foi preparada similarmente à utilizada pela empresa Citrograf Mudas, sendo armazenada em um tanque estoque de 1000L.

As fontes de nutrientes e a concentração desta solução podem ser observadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Concentração dos fertilizantes no tanque estoque

Fertilizante	**Concentração ($g.L^{-1}$)**
Nitrato de cálcio	725,0
Nitrato de potássio	362,5
MAP	72,5
Nitrato de MAGNÉSIO	271,9
Sulfato de cobre	4,1
Sulfato de zinco	7,5
Sulfato de manganês	4,8
Molibidato de Sódio (solução 1%)	4,8
Torak (EDTA-13% Fe)	48,3

2.2.1.5 Manejo da irrigação e fertirrigação

A evapotranspiração da mudas foi mensurada, geralmente, nas segundas, quartas e sextas-feiras, antes de cada irrigação e fertirrigação.

Para tanto, selecionou-se 10 plantas representativas, as quais eram pesadas, utilizando-se balança da marca Bel Engineering, modelo Mark 8000, com precisão de 0,05g.

A diferença média de massa registrada entre duas leituras consecutivas era então atribuída a evapotranspiração do porta-enxerto (Etc), ocorrida no período.

Estas plantas foram irrigadas com uma lâmina de irrigação 25% maior que a evapotranspiração, para se garantir que o substrato alcançasse sempre a capacidade de “container”, definida por White e Mastalerz (1966) como sendo a quantidade de água que permanece no substrato após a drenagem e antes da evaporação.

A fertirrigação foi realizada logo após a irrigação, aplicando-se sempre 0,03906L.planta^{-1} de solução, com concentrações de nutrientes que variavam em função do delineamento experimental adotado.

Este volume foi definido considerando o número total de plantas estudadas e a capacidade de um reservatório de 20,0L, utilizado para se diluir a solução armazenada no tanque estoque, de acordo com o delineamento experimental.

Em seguida a cada fertirrigação, aplicava-se mais 0,03906L.planta^{-1} de água para se realizar a retrolavagem do sistema. Este volume de fertirrigação e de água utilizado na retrolavagem era sempre descontado do total de água a ser aplicado em cada irrigação.

2.2.1.6 Porta-enxertos utilizado e meio de cultivo

Neste trabalho, estudou-se o porta-enxertos citrumelo ‘Swingle’ (*Citrus paradisi* x *Poncirus trifoliata*), cultivado inicialmente em tubetes plásticos, com formato de tronco de cone.

Ao atingirem em média 0,2m de altura, foram transplantados, para sacolas cilíndricas de polietileno preto, com capacidade para 5L, contendo 2,8kg de substrato comercial à base de casca de Pinus.

Com um diâmetro de 0,16m, esta sacola possuía uma área transversal de 0,020106m^2, na qual o substrato ficava exposto à perda de água por evaporação.

O experimento iniciou-se quando as mudas estavam com 0,29m de altura, em média.

Foram coletadas amostras deste substrato para análise, sendo que os resultados desta podem ser visualizado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Resultado das análises do substrato orgânico*

Determinações	**Umidade natural**	**Base seca (110°C)**
pH em $CaCl_2$ 0,01M	4,9	...
Densidade	0,53 $g.cm^{-3}$	...
Umidade perdida a 60-65°C	57,54%	...
Umidade perdida entre 65 e 110°C	4,34%	...
Umidade total	61,88%	0%
Inertes	0,00	...
Matéria orgânica total (combustão)	28,05%	73,58%
Matéria orgânica compostável	23,67%	62,09%
Matéria orgânica resistente à compostagem	4,38%	11,49%
Carbono total (orgânico e mineral)	15,58%	40,87%
Carbono orgânico	13,15%	34,50%
Resíduo mineral total	10,07%	26,42%
Resíduo mineral insolúvel	5,95%	15,61%
Resíduo mineral solúvel	4,12%	10,81%
Nitrogênio total	0,25%	0,66%
Fósforo (P_2O_5) total	0,09%	0,24%
Potássio (K_2O) total	0,06%	0,16%
Cálcio (Ca) total	0,30%	0,79%
Magnésio (Mg) total	0,51%	1,34%
Enxofre (S) total	0,04%	0,10%
Relação C/N (C total e N total)	62/1	62/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	52/1	52/1
Cobre (Cu) total	11$mg.kg^{-1}$	29$mg.kg^{-1}$
Manganês (Mn) total	99$mg.kg^{-1}$	260$mg.kg^{-1}$
Zinco (Zn) total	19$mg.kg^{-1}$	50$mg.kg^{-1}$
Ferro (Fe) total	6575$mg.kg^{-1}$	17248$mg.kg^{-1}$
Boro (B)	2$mg.kg^{-1}$	5$mg.kg^{-1}$
Sódio (Na) total	199$mg.kg^{-1}$	522$mg.kg^{-1}$

*Análise realizada no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ/USP

2.2.1.7 Análise estatística dos dados

O delineamento experimental utilizado foi composto por oito blocos, cada um com quatro linhas e quatro colunas.

Constituiu-se 16 tratamentos através da combinação de dois fatores, irrigação (L) e fertirrigação (N), ambos com quatro níveis cada. As Tabelas 2.3 e 2.4 apresentam as características de cada um destes fatores.

Tabela 2.3 - Percentagem de reposição da evapotranspiração do porta-enxerto

Reposição da evapotranspiração do porta-enxerto (%)			
L1	**L2**	**L3**	**L4**
50	75	100	125

Tabela 2.4 - Quantidades de nutrientes aplicados por porta-enxerto em cada fertirrigação

Fertirrigação	**Níveis de nutrientes (mg.planta^{-1}.fertirrigação^{-1})**										
	NO_3	**N-NH_4**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Cu**	**Zn**	**Mn**	**Fe**	**Mo**
N1	22,32	1,00	2,36	17,08	17,22	3,06	0,12	0,19	0,19	0,79	0,0024
N2	33,47	1,50	3,53	25,62	25,83	4,59	0,18	0,28	0,28	1,18	0,0036
N3	44,63	1,99	4,71	34,17	34,44	6,12	0,25	0,37	0,37	1,57	0,0048
N4	55,79	2,49	5,89	42,71	43,05	7,65	0,31	0,47	0,47	1,96	0,0060

Dentro de cada bloco, os quatro níveis de irrigação foram aplicados às quatro linhas e os quatro níveis de fertirrigação, aplicados às quatro colunas.

Os sorteios dos níveis de irrigação às linhas e dos níveis de fertirrigação às colunas foram realizados de modo a confundir o eventual efeito de vizinhança de uma parcela em relação à outra, com o efeito do termo L2Q2.

Este delineamento era um tipo de delineamento balanceado para vizinhança.

Utilizando-se uma única bancada de mudas, os tratamentos foram distribuídos de acordo com o esquema apresentado na Figura 2.2.

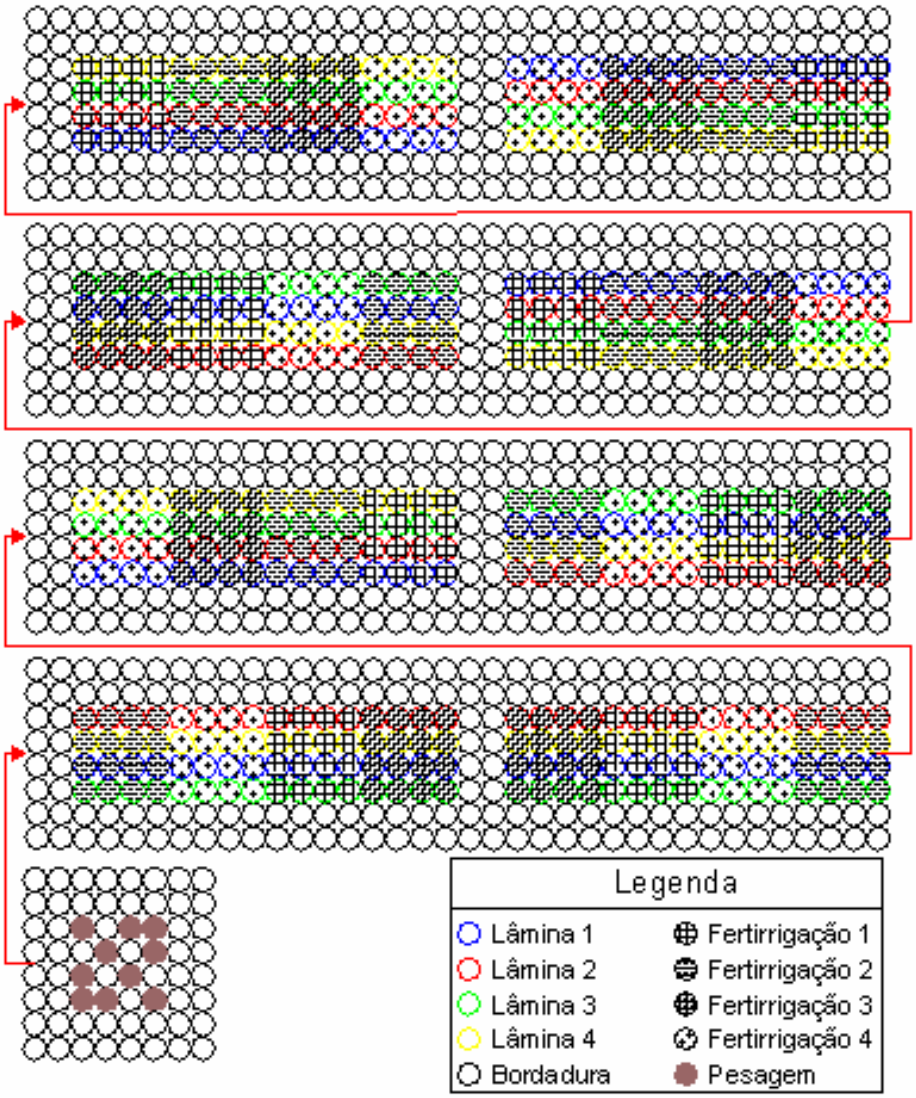

Figura 2.2 - Distribuição dos tratamentos sobre a bancada de mudas e plantas utilizadas na determinação da evapotranspiração, através de pesagem

2.2.1.8 Parâmetros avaliados

Na implantação dos tratamentos, após a instalação dos equipamentos de irrigação e fertirrigação, constatou-se que os porta-enxertos apresentavam uma certa desuniformidade em relação à altura, ainda que tivessem sido transplantados para a sacola somente aqueles com altura ao redor de 0,2m.

Conseqüentemente, optou-se por agrupar os porta-enxertos, mantendo a uniformidade de altura dentro de cada bloco e empregando-se a metodologia para a análise de crescimento citada por Magalhães (1985), Minami et al. (1980) e Vasconcellos et al (1986), que consiste em calcular a taxa de crescimento relativo, como mostrado pela eq. (1):

$$TCR = \frac{\ln(F_f) \quad - \quad \ln(F_i)}{\Delta T} \qquad (1)$$

em que:

TCR - taxa de crescimento relativo, $m.m^{-1}.dia^{-1}$;

Ln - logaritmo neperiano;

F_f - altura da planta, ou diâmetro do caule, no final do período de análise, m;

F_i - altura da planta, ou diâmetro do caule, no início da análise, m;

ΔT - intervalo de tempo entre duas medições consecutivas, dias.

A altura e o diâmetro do caule de todos os porta-enxertos de cada tratamento foram determinados no início e após 71 dias de experimento.

A variável altura foi mensurada através de régua graduada, considerando-se o nível do substrato e a extremidade superior do caule, enquanto que o diâmetro do caule, a 0,01m do nível do substrato, foi medido com paquímetro digital, com precisão de 0,01mm.

2.2.2 Resultado e discussão

O conhecimento da demanda hídrica de mudas cítricas, cultivadas sob condições de ambiente protegido, é essencial para o dimensionamento de sistemas de irrigação e indispensável em qualquer estratégia de manejo da irrigação. Na Tabela 2.5 podem ser visualizados a lâmina média diária e os volumes total e médio semanal aplicados em cada um dos níveis de irrigação L1, L2, L3 e L4, considerando os 71 dias de experimento.

Tabela 2.5 - Volume total, médio semanal e lâmina média diária, em função dos níveis de irrigação adotados

	Níveis de irrigação			
	L1	**L2**	**L3**	**L4**
Volume total (L.planta^{-1})	3,935	5,903	7,871	9,838
Volume médio semanal (L.planta^{-1})	0,394	0,590	0,787	0,984
Lâmina média (mm.dia^{-1})	2,76	4,14	5,51	6,89

De acordo com a Tabela 2.5, durante o experimento foram aplicados 3,935, 5,903, 7,871 e 9,838L de água por porta-enxerto, quando submetidos, respectivamente, aos níveis de irrigação L1, L2, L3 e L4. Considerando o intervalo de tempo deste experimento e a área transversal de 0,020106m^2 de cada sacola, estes volumes equivaleriam, aproximadamente, a uma lâmina de irrigação média de 2,76, 4,14, 5,51 e 6,89mm.dia^{-1}, respectivamente. Soares (2003), realizando estudos na mesma região, com porta-enxertos submetidos à irrigação com águas salinas e nitrato de cálcio, cultivados em sacolas de 5L, preenchidas com substrato comercial à base de casca de Pinus, reportou aplicações médias de 3,49, 5,27 e 3,43mm.dia^{-1} em tangerineira ‘Cleópatra’, limoeiro ‘Cravo’ e citrumeleiro ‘Swingle', respectivamente.

Como pode ser observada na Tabela 2.5, a lâmina de irrigação média L3, que correspondia à reposição de 100% da Etc, indicou que as plantas analisadas estavam submetidas a uma demanda hídrica maior do que aquelas estudadas por Soares (2003).

Este fato poderia ter ocorrido devido à distinta estação do ano em que ambos os trabalhos foram realizados. Soares (2003) avaliou os porta-enxertos no outono, enquanto que o presente trabalho foi realizado no final da primavera e início do verão, quando as temperaturas e a incidência de radiação solar são expressivamente maiores na região do estudo.

Na Tabela 2.6 são apresentados os níveis totais de nutrientes N1, N2, N3 e N4 aplicados em 21 fertirrigações.

Tabela 2.6 - Quantidade de nutrientes aplicados em 21 fertirrigações

Nível de nutrientes	**NO_3**	**N-NH_4**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Cu**	**Zn**	**Mn**	**Fe**	**Mo**
	(mg.planta^{-1})										
N1	468,6	20,9	49,5	358,7	361,6	64,2	2,59	3,93	3,93	16,49	0,05
N2	703,0	31,4	74,2	538,1	542,4	96,3	3,88	5,90	5,90	24,74	0,08
N3	937,3	41,9	99,0	717,5	723,2	128,5	5,18	7,87	7,87	32,99	0,10
N4	1171,6	52,3	123,7	896,8	904,0	160,6	6,47	9,83	9,83	41,23	0,13

Assim como o déficit hídrico, a disponibilidade de nutriente interfere diretamente nas atividades metabólicas da planta, influenciando a precocidade de produção da muda cítrica. Conseqüentemente, torna-se evidente a importância de se quantificar os efeitos de níveis de nutrientes mostrados na Tabela 2.6 sobre o crescimento do citrumelo ‘Swingle', o que poderia auxiliar na redução dos custos de produção e na tomada de decisão.

Para tanto, a taxa de crescimento relativo, calculada com base no diâmetro do caule ou altura do porta-enxerto, pode fornecer um excelente indício da precocidade de produção da muda cítrica, sendo o diâmetro do caule do porta-enxerto a principal característica morfológica que define o momento de enxertia.

Destarte, foi proposto um modelo matemático para estimar, a partir do conhecimento da disponibilidade de água e nutriente, a taxa de crescimento relativo baseada no diâmetro do caule do porta-enxerto (TCR_D). Na Tabela 2.7 podem ser visualizados os resultados obtidos na análise de variância para a variável TCR_D, submetida aos níveis de água e nutrientes, apresentados, respectivamente, nas Tabelas 2.5 e 2.6.

Tabela 2.7 - Análise de variância para a variável TCR_D

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Pr(>F)
L	1	0,00001726	0,000017260	47,146	0,00000201
Falta de ajuste	2	0,000002205	0,000001103	3,0118	0,07442
Resíduo	18	0,00000659	0,000000366		
N	1	0,000013466	0,000013466	13,3499	0,00182
Falta de ajuste	2	0,000005499	0,000002749	2,7256	0,09246
Resíduo	18	0,000018157	0,000001009		
Vizinhança	1	0,000000013	0,000000013	0,0149	0,9059
Resíduo	8	0,000006737	0,000000842		
Falta de ajuste	8	0,000001568	0,000000196	0,3388	0,947
Resíduo	55	0,000031814	0,000000578		

Considerando os resultados apresentados na Tabela 2.7 e o nível de significância de 5%, pode-se afirmar que houve efeitos dos níveis de água e nutrientes aplicados sobre a variável taxa de crescimento relativo com base no diâmetro do caule, não existindo falta de ajuste do modelo proposto, ou seja, não sendo necessário incluir termos de maior grau, validando assim o modelo matemático [eq. (2)]:

$$TCR_D = 0{,}004636316 + 0{,}00001313791L - 0{,}00001160437N \quad (2)$$

em que:

TCR_D - taxa de crescimento relativo com relação ao diâmetro do caule do porta-enxerto, medido a 0,01m do nível do substrato, $m.m^{-1}.dia^{-1}$;

L - porcentagem de reposição da evapotranspiração do porta-enxerto;

N - porcentagem dos totais de nutrientes ($mg.planta^{-1}$) aplicados no nível N3, Tabela 2.6.

Utilizando-se este modelo matemático [eq. (2)], gerou-se a Figura 2.3, que descreve o comportamento da variável TCR_D frente aos níveis (Tabelas 2.5 e 2.6) de irrigação L1, L2, L3 e L4 e de nutrientes N1, N2, N3 e N4, permitindo assim uma melhor visualização dos resultados obtidos:

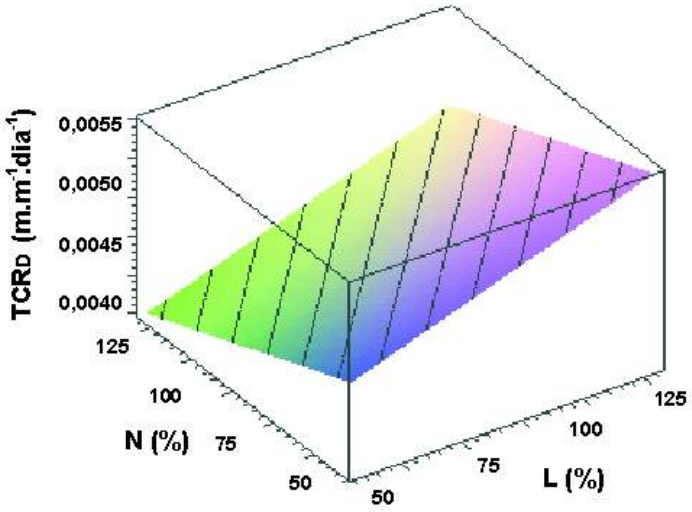

Figura 2.3 - Superfície de resposta para a variável TCR_D em função do nível de irrigação (L) e nutrientes (N)

Considerada como um dos mais importantes fatores de produção, a água é essencial ao crescimento e ao desenvolvimento pleno da planta. Como principal constituinte do tecido vegetal, a água atua no transporte deslocando solutos e gases,

como reagente no metabolismo básico, na turgescência celular, responsável pela forma e estrutura dos órgãos, no mecanismo estomático, na penetração do sistema radicular no substrato e crescimento através da expansão celular. Tal expansão celular, causada pelo influxo de água, induz a alongação do tecido vegetal, sendo responsável pelo surgimento de uma área maior de crescimento potencial (LUCCHESI, 1987).

Como sugere a Figura 2.3, os maiores volumes de água foram os que proporcionaram a maior TCR_D, aumentando a precocidade de formação do porta-enxerto citrumelo ‘Swingle'. Estes resultados estão de acordo com os relatados por Olic et al. (2001), que obtiveram maior desenvolvimento de mudas cítricas com a reposição de 100 e 125% da evapotranspiração da planta e com Martínez (2002), que recomendava a aplicação de água com 15 a 20% de excesso em irrigações de plantas cultivadas em vasos, sob condições de ambiente protegido.

Inversamente, os maiores níveis de nutrientes foram os que mais retardaram o crescimento do porta-enxerto, como mostrado a Figura 2.3, contrariando as expectativas, uma vez que tais níveis eram semelhantes aos relatados por Boaventura (2003), que determinou as exigências nutricionais por macro e micronutrientes, assim como a marcha de absorção do porta-enxerto limão ‘Cravo’ e citrumelo ‘Swingle’, cultivados em substratos, sob ambiente protegido.

Semelhantemente, os níveis totais de água e nutriente apresentados nas Tabelas 2.5 e 2.6 também influenciaram a taxa de crescimento relativo calculada em função da altura da planta (TCR_A), como pode ser visualizado na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Análise de variância para a variável TCR_A

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Pr(>F)
L	1	0,0000814	0,0000814	42,0025	0,00000427
Falta de ajuste	2	0,0000005	0,0000003	0,1332	0,8761
Resíduo	18	0,0000349	0,0000019		
N	1	0,0001019	0,0001019	55,4349	0,00000067
N^2	1	0,0000256	0,0000256	13,9092	0,001534
N^3	1	0,0000104	0,0000104	5,6532	0,028712
Resíduo	18	0,0000331	0,0000018		
Vizinhança	1	0,0000003	0,0000003	0,0846	0,7785
Resíduo	8	0,0000267	0,0000033		
Falta de ajuste	8	0,0000049	0,0000006	0,2873	0,9674
Resíduo	55	0,0001170	0,0000021		

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 2.8, houve efeito dos termos L, N, N^2 e N^3, com nível de significância de 5%, não ocorrendo falta de ajuste do modelo adotado, conseqüentemente, não sendo necessária a inclusão de outros termos no modelo. Por conseguinte, para se estimar a TCR_A, a partir de níveis de água e nutriente, poder-se-ia utilizar o modelo matemático [eq. (3)]:

$$TCR_A = 0{,}03357119 + 0{,}00002852342L - 0{,}000746606 5N + 0{,}000007850791N^2 - 0{,}00000002718364N^3 \quad (3)$$

em que:

TCR_A - taxa de crescimento relativo em função da altura do porta-enxerto, medida entre nível do substrato e o ápice do caule, $m.m^{-1}.dia^{-1}$;

L - porcentagem de reposição da evapotranspiração do porta-enxerto;

N - porcentagem dos totais de nutrientes ($mg.planta^{-1}$) aplicados no nível N3, Tabela 2.6.

Não obstante, torna-se importante salientar que as eq. (2) e eq. (3) foram validadas para a estimativa da TCR_D e TCR_A somente a partir de níveis de água e nutrientes compreendidos entre os intervalos apresentados nas Tabelas 2.5 e 2.6

Utilizando-se o modelo matemático proposto, eq. (3), seria possível estimar o comportamento da variável TCR_A quando o porta-enxerto estivesse submetido a níveis de água e nutrientes, como esquematizado na Figura 2.4.

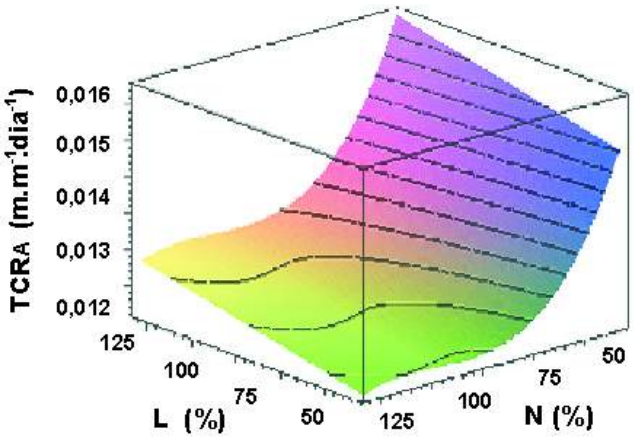

Figura 2.4 - Superfície de resposta para a variável TCR_A em função do nível de irrigação (L) e nutrientes (N)

Verifica-se na Figura 2.4, que TCR_A foi influenciada similarmente a TCR_D, sendo que, quanto maior o volume de água e menor a quantidade de nutrientes aplicados, maior foi o crescimento do porta-enxerto. Desta forma, a reposição de 125% da evapotranspiração do porta-enxerto, que resultou na aplicação do volume total de 9,838L.planta^{-1}, ao longo dos 71 dias de experimento, e o fornecimento de 468,6 de NO_3, 20,9 de N-NH_4, 49,5 de P, 358,7 de K, 361,6 de Ca, 64,2 de Mg, 2,59 de Cu, 3,93 de Zn, 3,93 de Mn, 16,49 de Fe e 0,05 Mo mg.planta^{-1}, parcelado em 21 fertirrigações, foram responsáveis pela maior precocidade de formação do porta-enxerto citrumelo 'Swingle', resultando em uma TCR_D e TCR_A de 0,005698 e 0,016035m.m^{-1}.dia^{-1}, respectivamente.

Um fator que não foi avaliado neste trabalho, mas que poderia ter influenciado a obtenção destes resultados, ainda que indiretamente, seria a freqüência de irrigação adotada.

Nas etapas finais deste experimento foi constatado à ocorrência de drenagem na maioria das sacolas, inclusive em algumas que recebiam uma reposição de água menor que a evapotranspiração da cultura. Contudo, não foi possível quantificar individualmente o volume drenado, devido ao número de plantas avaliadas.

Soares (2003) relatou ocorrências semelhantes ao utilizar substrato à base de casca de Pinus. De acordo com este pesquisador, o substrato teria se mostrado hidrofóbico nas camadas superiores, registrando-se maiores drenagens à medida que foram aplicadas maiores lâminas, em menor freqüência de irrigação, provavelmente devido ao fato da velocidade de percolação ter sido superior à velocidade de absorção de água no substrato utilizado.

Na Figura 2.5 são apresentadas as freqüências e os volumes de água aplicados para repor a variação média de massa registrada nas 10 sacolas monitoradas.

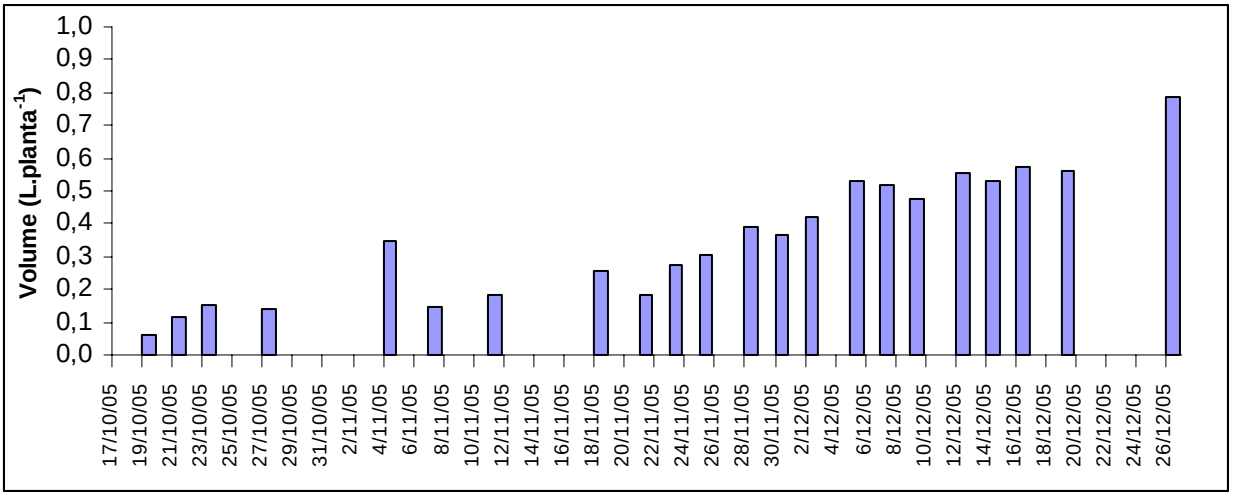

Figura 2.5 - Freqüência de irrigação e volume de água aplicado para repor 100% da evapotranspiração do porta-enxerto citromelo ‘Swingle’

Como pode ser observado na Figura 2.5, à medida que se reduziu a freqüência, foi necessário aumentar o volume de água aplicado em cada irrigação, para que a demanda hídrica do porta-enxerto fosse atendida, principalmente no final do experimento.

A ocorrência de drenagem nas sacolas sugere que a freqüência de irrigação adotada talvez não tenha sido adequada, uma vez que esta poderia ter propiciado o surgimento de hidrofobia no substrato.

Todavia, o volume médio de água de 0,787L.planta^{-1}.semana^{-1}, Tabela 2.5, aplicado para repor 100% da evapotranspiração do porta-enxerto, foi semelhante ao relatado por Boaventura et al. (2004). Estudando as perdas de nutrientes na produção de mudas cítricas cultivadas em substrato, sob condições de ambiente protegido, na mesma região, estes autores aplicaram semanalmente 0,750L.planta^{-1} de solução nutritiva para atender a demanda hídrica e de nutrientes do porta-enxerto citromelo ‘Swingle’. Estes pesquisadores mencionaram ainda que, geralmente, as perdas de água por evapotranspiração representaram o dobro do volume perdido por lixiviação e, nas épocas mais quentes, ultrapassavam o volume semanal aplicado na fertirrigação, demonstrando o grande potencial para o acúmulo de sais nesse sistema de produção de mudas.

De acordo com Francescato (1995), maiores freqüências de irrigação seriam então necessárias para manutenção de maiores níveis de umidade em substratos à base de casca de Pinus, uma vez que se registrou maiores oscilações na umidade dos substratos irrigados com menor freqüência, dificultando a absorção de água, principalmente naqueles com maior granulometria.

Riviere et al. (1990) também constataram que as plantas com elevado consumo de água, cultivadas em substrato com capacidade de armazenamento de água acima de 30% e macroporos ao redor de 20%, tinham um melhor desempenho quando submetidas a uma maior freqüência de irrigações, com menores volumes de água aplicados.

Desta forma, o surgimento de hidrofobia, no substrato utilizado neste experimento, poderia ter potencializado ainda os efeitos da salinidade no meio de cultivo.

Segundo Maas e Hoffman (1977), a relação entre salinidade e produção poderia ser expressa por uma função de resposta linear negativa em níveis de salinidade acima do limite crítico.

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem então que, com o possível aumento da hidrofobia, a disponibilidade de água para a planta teria sido reduzida. Considerando a diminuição do potencial mátrico e aumento do estresse hídrico, decorrentes do efeito hidrofóbico, e um menor aumento no potencial osmótico do meio de cultivo, provocado pela aplicação do nível de nutriente N4, comparativamente aos demais níveis, poderia ter ocorrido uma redução do potencial total da água no substrato, impedindo que o porta-enxerto apresentasse uma taxa de crescimento maior.

Por sua vez, a aplicação do maior nível de irrigação (L4) poderia ter sido benéfica para o porta-enxerto, provavelmente, devido a eliminação do excesso de sais presentes no substrato. Não obstante, durante a realização deste trabalho não se constatou visualmente qualquer sintoma de deficiência, toxidez, ou diferença de crescimento entre os porta-enxerto analisados.

Dado a insuficiência de informações e as distintas condições em que cada trabalho foi realizado, torna-se muito difícil à comparação dos resultados obtidos com outros encontrados na bibliografia. Todavia, tomando-se como referência os trabalhos desenvolvidos por Boaventura (2003), Francescato (1995) e Riviere et al. (1990), considerando-se ainda o possível aumento da hidrofobia no substrato, efeitos da salinidade e a relação entre produtividade e água aplicada (HARGREAVES; SAMANI, 1984, HART et al., 1979 e ENGLISH, 1990, apud BERTONHA, 1997), pode se supor que o fator limitante a precocidade de formação do porta-enxerto estudado poderia ter sido a disponibilidade de água, resultante de uma freqüência de irrigação inadequada.

Desta forma, serão necessários novos estudos para se definir a freqüência de irrigação ideal em função da capacidade de re-hidratação e limite crítico de umidade dos substratos, utilizados atualmente para produção de mudas cítricas, sob condições de ambiente protegido.

2.3 Conclusões

Dentre os níveis de água e nutrientes estudados e nas condições em que este trabalho foi realizado, concluiu-se que:

A reposição de 125% da evapotranspiração do porta-enxerto, que resultou na aplicação de um volume total de água de 9,838L.planta^{-1}, distribuído ao longo dos 71 dias de experimento, e o fornecimento de 468,6 de NO_3, 20,9 de N-NH_4, 49,5 de P, 358,7 de K, 361,6 de Ca, 64,2 de Mg, 2,59 de Cu, 3,93 de Zn, 3,93 de Mn, 16,49 de Fe e 0,05 Mo mg.planta^{-1}, parcelado em 21 fertirrigações, promoveram a maior precocidade de formação do porta-enxerto citrumelo ‘Swingle'.

Os modelos matemáticos propostos para estimativa do crescimento do porta-enxerto, a partir da aplicação de níveis de água e nutrientes, foram validados. Tais modelos são descritos por $TCR_D = 0{,}004636316 + 0{,}00001313791L - 0{,}00001160437N$ e $TCR_A = 0{,}03357119 + 0{,}00002852342L - 0{,}0007466065N + 0{,}000007850791N^2 - 0{,}00000002718364N^3$, em que TCR_D é a taxa de crescimento relativo com relação ao diâmetro do caule do porta-enxerto, TCR_A é a taxa de crescimento relativo em função da altura do porta-enxerto, L é a porcentagem de reposição da evapotranspiração do porta-enxerto e N é a porcentagem dos totais de nutrientes a serem aplicados via fertirrigação.

Referências

ABAD, M.; NOGUERA, P. Substratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In: CADAHIA, C. (Ed.) **Fertirrigación:** cultivos horticolas y ornamentals. Madrid: Mundial-Prensa, 1988. p. 287-342.

BERTONHA, A. **Funções de resposta da laranja Pêra a irrigação complementar e nitrogênio**. 1997. 113 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

BOAVENTURA, P.R.R. **Demanda por nutrientes de porta-enxertos e mudas cítricas produzidas em substratos em ambiente protegido**. 2003. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2003.

BOAVENTURA, P.R.R.; 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, ago. 2004.

CARVALHO, S.A. Regulamentação atual da Agência de Defesa Agropecuária para produção, estocagem, comércio, transporte e plantio de mudas cítricas no Estado de São Paulo. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 1, p. 199-239, 2003.

CASTLE, W.S.; FERGUSON, J.J. Current status of greenhouse and container production of citrus nursery trees in Florida. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Society**, Tallahasse, v. 95, p. 42-46, 1982.

CASTLE, W.S.; ROUSE, R.E. Total mineral nutrient content of Florida citrus nursery plant. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Society**, Winter Haven, v. 103, p. 42-44, 1990.

CASTLE, W.S.; ADAMS, W.G.; DILLEY, R.L. Indoor container system produces citrus nursery trees in one year from seed. **Citrus Industry**, Tampa, v. 61, n. 7, p. 15-22, 1980.

COELHO, A.M. Fertigação. In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação:** aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, EMBRAPA, 1994. p. 201-227.

COHEN, S.; MORESHET, S.; GUILLOU, L.L.; SIMON, J.C.; COHEN, M.; Responses of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford v. 48, p. 35-44, 1997.

DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. **Cítricos**. Zaragoza: Acribia, 1999. 283 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPA, 1994. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DUENHAS, L.H.; VILLAS BÔAS, R.L.; SOUZA, C.M.P.; RAGOZO, C.R.A.; BULL, L.T. Fertirrigação com diferentes doses de NPK e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de laranja (*Citrus sinensis* O.) 'Valência'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1 p. 214-218, 2002.

ESPOSTI, M.D.D.; SIQUEIRA, D.L. Doses de uréia no crescimento de porta-enxertos de citros produzidos em recipientes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 136-139, abr. 2004.

FERREIRA NETO, M. **Doses de N e K aplicadas via fertirrigação na cultura do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) anão**. 2005. 102 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FRANCESCATO, R.D.C. **Influência de freqüência de irrigação, substrato e adubo de liberação lenta na produção de porta-enxerto cítrico de limão ‘Cravo’ (*Citrus limonia*, Osbeck).** 1995. 98 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

FUNDECITRUS. Disponível em: <www.fundecitrus.com.br>. Acesso em: 20 mar. 2006.

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**, New York, v. 28, p. 1465-1480, 2005.

GIRARDI, E.A.; OLIC, F.B.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; GRAF, C.C.D. Growth of citrus nursery trees related to the container volume. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CITRUS NURSERYMEN, 2001, Ribeirão Preto. **Proceedings...** Ribeirão Preto: Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro, 2001. p. 316-320.

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. (Ed.). **Nutrition of Florida citrus trees**. Gainesville: University of Florida, 1995. p. 13-16.

LEA-COX, J.D.; SMITH, I.E. Regime on the growth of three woody perennial (citrus) species in pine bark substrates. In: FARE, D. (Ed.). **SNA research conference**. Atlanta: Southern Nursery Association, 1997. v. 42, p. 169-174. Disponível em: <http://www.sna.org/research/researchproceedings.shtml>. Acesso em: 08 jan. 2006.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1987. p. 1-11

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance - Current Assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineers**, New York v. 103, n. IR2, p. 115-134, 1977.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1985. v.1, p. 331-350.

MARTÍNEZ, P.F. Manejo de sustratos para horticultura. 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. 53-76. (IAC. Documentos, 70).

MARTINS, S.R.; PEIL, R.M.; SCHWENGBER, J.E.; ASSIS, F.N.; MENDEZ, M.E.G. Produção de melão em função de diferentes sistemas de condução de plantas em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 1, p. 24-30, 1998.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J.A.; CARVALHO, S.A.; ABREU, M.F. Substratos para a produção de mudas cítricas em recipientes: caracterização da toxicidade de boro. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 16, n. 1, p. 255-262, 1995.

MAUST, B.E.; WILLIAMSON, J.G. Nitrogen nutrition of containerized citrus nursery plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 119, n. 2, p. 195-201, 1999.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; PINTO, J.M. Fotossíntese de laranjeira `Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia,** Campinas, v. 57, n. 1, p. 1-14, 1998.

MINAMI, K.; SIMÃO, S.; MANTOVANI, W. Análise de crescimento da beringela (*Solanum melogena* L.). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"**, Piracicaba, v. 37, n. 1, p. 63-70,1980.

MONTEIRO, C.A.F. **A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo**. São Paulo: USP, Instituto de Geografia, 1973. 192 p.

MONTERO, J.I.; CASTILLA, N.; GUTIERREZ DE RAVÉ, E.; BRETONES, F. Climate under plastic in the Almeria area. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 170, p. 227-234, 1985.

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 irrigatio. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CITRUS NURSERYMEN, 6., 2001, Ribeirão Preto. **Proceedings...** Ribeirão Preto: ISCN, 2001. p. 131-133.

PERIN, J.R.; CARVALHO, S.A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. Efeito de substratos e doses de fertilizante de liberação lenta no teor de clorofila e desenvolvimento vegetativo do limoeiro cravo em tubetes. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 20, n. 2, p. 463-476, 1999.

POMPEU JÚNIOR, J. Porta-enxertos., In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F. (Ed.). **Citricultura Brasileira** Campinas: Fundação Cargill, 1991. v.1, p. 265-280.

RIVIERE, L.M.; FOUCARD, J.C.; LEMAIRE, F. Irrigation of container crops according to the substrate. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 43, p. 339-349, July. 1990.

ROCHA, A.C.; SANDRINI, M.; CARVALHO, S.A. Propagação de três espécies de citros através do enraizamento de estacas verdes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 10, n. 2, p. 31-33, 1988.

RUSCHEL, J. **Crescimento e estado nutricional de mudas de citros influenciadas pela adubação com nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio**. 2002. 69 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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.

SOUZA, M. Nutrição e adubação para produzir mudas de frutíferas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, n. 102, p. 40-43, 1983.

TEÓFILO SOBRINHO, J. Propagação de citros. In: RODRIGUEZ, O. (Ed.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v.1, p.281-301.

VALLE, M.G. Impactos na citricultura paulista decorrentes da implementação de técnicas de produção de borbulhas e mudas sadias de citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 23, n.2, p. 271-280, 2002.

VASCONCELLOS, C.A.; BARBOSA, J.V.A.; SANTOS, H.L; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. Acumulação de massa seca e nutrientes por híbridos de milho cultivados com e sem irrigação suplementar In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15., 1984, Maceió. **Anais**...Brasília: EMBRAPA, DDT,1996. p.79-88.

WHITE, J.W.; MASTALERZ, J.W. Soil moisture as related to “container capacity”. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Beltsville, v. 89, p. 758-765, 1966

ZANETTI, M.; CAZETTA, J.O.; MATTOS JUNIOR, D.; CARVALHO, S.A. Influência do extrato pirolenhoso na calda de pulverização sobre o teor foliar de nutrientes em limoeiro 'Cravo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n 3, p. 529-533, dec. 2004.

3 PROJETO, CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM LISÍMETRO MÓVEL DE PESAGEM, COM CÉLULA DE CARGA HIDRÁULICA, PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE MUDAS CÍTRICAS

Resumo

Considerando o sistema atual de produção de mudas cítricas, este trabalho objetivou o desenvolvimento, construção e análise da performance de dois lisímetros móveis de pesagem, utilizando-se célula de carga confeccionada com cilindro hidráulico em um e diafragma no outro. Como pré-requisito, foi estabelecido que a estrutura de pesagem deveria possuir movimento bi-direcional, sendo suficientemente manipulado por apenas um operador, ser resistente ao transporte, monitorar mudas representativas de um grupo de interesse, permitir a desinfestação e desinfecção, realizada através da aplicação de formalina e hipoclorito de sódio, não alterar a disposição das mudas, que continuariam sendo cultivadas em sacola com substrato, sobre a bancada padrão, determinar com precisão, exatidão e resolução aceitável a evapotranspiração em períodos menores que um dia e apresentar baixo custo de construção. A solução encontrada para atender estes pré-requisitos e viabilizar a lisimetria em casa de vegetação, com grupos de plantas muito heterogêneos, foi o emprego de uma estrutura metálica capaz de pesar, isoladamente, vários Contentores de Mudas, dispostos na mesma casa de vegetação e em outras. O número de contentores seria então diretamente proporcional ao número de variedades cultivadas e estádio de desenvolvimento de cada uma, enquanto que o número de estruturas móveis de pesagem seria função do número de contentores a ser pesado em um dado intervalo de tempo. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que o lisímetro com cilindro hidráulico apresentou um desempenho insatisfatório, sendo que a detecção de histerese e lentidão de resposta inviabilizou sua calibração. Todavia, o emprego de um diafragma proporcionou ao lisímetro um desempenho superior ao daquele com cilindro hidráulico, sendo que a regressão linear entre o volume de água e leitura da Régua resultou na equação matemática V = 0,0178.LR, onde V é o volume de água, L.planta^{-1} e LR é a leitura realizada na Régua do piezômetro, mm. O coeficiente de determinação (r^2) de 0,9971 aferido nesta regressão indicou a excelente precisão do equipamento, sendo a histerese considerada desprezível. Com um r^2 de 0,9975, originado da regressão entre o volume estimado por esta equação e o volume real registrado, e um índice de Concordância (d) de 0,99926, este lisímetro apresentou excelente exatidão na determinação da variação de umidade, sendo sua resolução de 0,45mm de lâmina de água. Foi necessário um investimento médio estimado de US$1.108,54 para a construção de cada lisímetro, incluindo material e mão-de-obra. A mobilidade apresentada pelo Sistema de Pesagem foi suficiente para permitir a livre movimentação entre bancadas de mudas, exigindo um único operador para tal.

Palavra-chave: lisimetria, evapotranspiração, ambiente protegido, citros

Abstract

Design, construction and evaluation of a weighing lysimeter, with hydraulic load cell, for determination of water requirements of citrus nursery trees in screenhouse

The aim of present work was to develop, construct and evaluate the performance of two movable weighing lysimeters, applying a hydraulic load cell made of hydraulical cylinder and diaphragm. It was required that the weighing structure would have to hold bidirectional movement, should be easily operated by a single man, resistant to the transport, allow to evaluate groups of representative plants, tolerate disinfection, the position of nursery trees should not be modified in the container, determine with accuracy evapotranspiration in period lesser that one day, and it should be cheap to construct. The solution found to make feasible the use o lysimeter in actual citrus nursery production system in screenhouse, with high heterogeneous group of plants, was to use a movable structure, able to weight several containers of seedlings, sequentially. The number of container is function of number of varieties and development stage and the number of weighting structure is a function of the number of containers. From results, it was concluded that lysimeter with hydraulical cylinder presented an unsatisfactory performance, due to hysteresis and slowness of reply. However, the lysimeter with diaphragm presented a good performance, providing the mathematic equation V=0.0178LR, where V is the volume of water (L/plant) and LR is the piezometric reading (mm). The determination coefficient (r^2) was 0.9971, indicating an excellent adjustment of equipment. A regression between estimated and real volume, provide a r^2 of 0.9975 and concordance index (d) of 0.99926, indicating excellent accuracy, with 0.45mm water depth resolution. The mobility of equipment allowed free movement between nursery benches, with just one operator. Total construction cost was US$1,108.54, for each lysimeter.

Keywords: lysimetry, evapotranspiration, screenhouse, *Citrus*

3.1 Introdução

Visando a melhoria da sanidade do parque citrícola, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo determina que a produção de mudas deve ser realizada somente em ambiente protegido por tela à prova de insetos vetores e cultivadas em contêineres com substrato esterilizado. De acordo com o Fundecitrus (2006), .a edição de normas legais mais rigorosas para a produção de mudas cítricas tem sido realizada desde 1999 por esta secretaria. Com o surgimento da morte súbita dos citros, as preocupações com as medidas de segurança aumentaram, tornando obrigatório o emprego de tecnologias mais modernas e eficazes de controle.

O viveirista que não respeitar tais normas estará sujeito a sanções, que segundo Carvalho (2003), consistem na proibição da comercialização de produto, interdição do viveiro e do depósito, apreensão de produto, destruição de produto e multa.

Assim, inspeções realizadas em 568 viveiros em dezembro de 2005, verificaram 13.149.652 de mudas e 9.442.282 de porta-enxertos e constataram que, destes totais, somente 0,014 e 0,039% eram produzidos em viveiros abertos, respectivamente (FUNDECITRUS, 2006),

Para Moss (1978) e Willianson e Castle (1989), o cultivo de mudas cítricas em vasos e sob condições de ambiente protegido apresenta muitas vantagem quando comparo ao realizado em campo aberto. Dentre estas, citam a redução do tempo de formação da muda, maior controle da adubação e diminuição de problemas com pragas e doenças. Oliveira et al. (1997) também citam como vantagem deste sistema de produção a possibilidade de cultivos em locais onde as condições climáticas são inadequadas. Mas segundo Oliveira (1995), existem problemas que podem ser limitantes ao emprego destas instalações, como a dificuldade no controle de altas temperaturas, umidade do ar, iluminação e de pragas e doenças depois de instaladas.

De acordo com Martins et al. (1998), para se obter melhor resposta ao manejo da cultura em ambiente protegido, é imprescindível conhecer as condições necessárias para que a planta tenha um bom crescimento e desenvolvimento. As interações entre planta, ambiente e práticas fitotécnicas utilizadas condicionam respostas quantitativas, principalmente produtivas, e qualitativas.

Desenvolvendo-se neste ambiente, as mudas de citros tem um comportamento diferente daquelas que são cultivadas em condições de campo, devido a diversos fatores como a incidência de radiação, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A alteração destes parâmetros micrometeorológicos em ambientes protegidos influencia diretamente a demanda hídrica das mudas cítricas.

O conhecimento sobre a demanda hídrica das plantas cultivadas é extremamente importante, principalmente em cultivos realizados em casa de vegetação, onde a reposição de água é realizada exclusivamente pela irrigação. Não obstante, a escassez de informações técnicas adequadas a este ambiente de cultivo faz com que o manejo desta irrigação seja realizado geralmente de forma empírica, com base no conhecimento prático do viveirista. Assim, a probabilidade de se cometer erros neste manejo tende a ser maior, aumentando o dispêndio com energia, água e nutriente, impedindo que a muda expresse todo o seu potencial produtivo, reduzindo a competitividade do viveirista e aumentando o impacto ambiental.

Embora o custo da água seja relativamente baixo, quando comparado aos demais custos envolvidos na produção de mudas cítricas, quantificar com exatidão a demanda hídrica das mudas cítricas torna-se uma necessidade para o viveirista que busca aumentar a eficiência de produção.

Para tanto, existem muitas metodologias para se determinar a evapotranspiração da cultura - Etc, utilizando-se modelos matemáticos de estimativa ou então leitura direta (ALLEN et al., 1998; CAMARGO; CAMARGO, 2000; DOORENBOS; PRUITT, 1977; KLOCKE et al., 1985; PEREIRA et al., 1997). Portanto, deve-se encontrar aquela que melhor se ajusta à região e às disponibilidades do produtor de mudas.

De acordo com a literatura, o lisímetro de pesagem é o equipamento mais prático, preciso e confiável para se determinar diretamente a evapotranspiração em períodos menores que um dia (HOWELL et al., 1985, WRIGHT; JENSEN, 1978) e em condições de campo (RITCHIE; BURNETT, 1968). Corwin e Lemert (1994) também apresentam como vantagem o fato de que este equipamento permite um melhor controle de variáveis analisadas em experimentos, como evapotranspiração, entradas da água e soluto, reações químicas, degradação, volatilização e drenagem, as quais podem ser medidos independentemente. Assim sendo, Howell et al. (1991), Meshkat et al. (1999),

Pruege et al. (1997), Ritchie e Burnett, (1968) e Young et al. (1997) citam que a lisimetria têm sido considerada a metodologia padrão para determinação da evapotranspiração.

O termo lisímetro é derivado das palavras gregas “lysis” e “metron” que significam respectivamente dissolver e medição. Geralmente, lisímetro é considerado todo o equipamento que possui um recipiente contendo solo vegetado, ou nu, que representa o ambiente em que foi instalado, sendo utilizado para se determinar a evapotranspiração de referência, da cultura ou a evaporação do solo nu. Os lisímetros são utilizados há mais de 300 anos e um dos primeiros estudos utilizando estes equipamentos foi realizado na França em 1688 por De la Hire, matemático e meteorologista da corte de Louis XIV. Posteriormente, Maurice na Suíça e Dalton na Inglaterra, em trabalhos independentemente, iniciaram seus estudos em lisímetros no ano de 1796. Dalton, sendo freqüentemente considerado o primeiro a utilizar um lisímetro em pesquisas, reconhece ter se inspirado em De la Hire. Não obstante, o primeiro lisímetro com solo monolítico foi construído por Lawes e Gilbert no ano de 1870 em Rothamsted, Inglaterra. Em 1888, Sanbord construiu um lisímetro monolítico com 40,5 m^2 de solo indeformado, isolado por paredes laterais impermeáveis e com sistema de drenagem instalado a 1,2 m de profundidade , na Estação Experimental Agrícola de Missouri, EUA. Por sua vez, Von Seelhorst, em 1906 na Alemanha, foi o primeiro a instalar um lisímetro com sistema de pesagem. Em 1937 foi construído um lisímetro monolítico de Coshocton, em Ohio, com dispositivos automáticos de gravação dos componentes do ciclo hidrológico, como percolação profunda, evapotranspiração, precipitação e escorrimento superficial (ABOUKHALED et al., 1982).

Pruitt e Angus (1960), relatam ainda que no ano de 1958, em Davis, EUA, foi instalado um dos maiores e mais precisos lisímetros de pesagem que se tem relatos.

No Brasil, o maior lisímetro de pesagem encontra-se na Fazenda Areão, pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, em Piracicaba, SP. Construído por Campeche (2002) para estudar a demanda hídrica da lima ácida 'Tahiti', o equipamento possui 4 metros de diâmetro e 1,3 metro de profundidade, utilizando células de carga eletrônicas e sistema automatizado de aquisição de dados.

Aboukhaled et al. (1982) citam que os lisímetros são encontrados em todo mundo, sendo que Lanthaler (2004) afirma que, somente na Europa, 117 instituições operam 2.440 lisímetros em 15 países. Destes, apenas 15,8% são do tipo pesáveis. Do total, 62% são cultivados com culturas agronômicas, 23% com grama, 1% com espécies florestais e o restante com cultivos variados.

Devido às exigências de cada estudo, diferentes tipos de lisímetros têm sido desenvolvidos e varias soluções técnicas têm sido aplicadas para aumentar a precisão da mensuração da evapotranspiração e quantificar os demais componentes do balanço hídrico, como precipitação, drenagem e escorrimento superficial. Em função da forma em que a variação da umidade do solo é mensurada, os lisímetros podem ser classificados em dois grandes grupos: não pesáveis e pesáveis. Em lisímetros não pesáveis, a evapotranspiração de um período é obtida a partir da diferença entre o volume de água aplicado e o coletado no sistema de drenagem. Nos lisímetros pesáveis, tanto a evapotranspiração, como a drenagem pode ser mensurada simultaneamente e independentemente (ABOUKHALED et al., 1982).

Segundo Corwin e Lemert (1994), os lisímetros de pesagem têm sido muito utilizados na agricultura e em estudos científicos como ferramentas para se medir interações complexas entre solo, água, planta e íons, tornando-se cada vez mais importantes nos estudo do movimento de poluentes orgânicos e inorgânicos, sendo particularmente recomendados para o desenvolvimento e a validação de modelos unidimensionais de transporte do soluto.

Nestes equipamentos, as variações de massa do solo, ou substrato, são correlacionadas a mudança de umidade. Assim, um aumento na massa significa um acréscimo de água, podendo ser por precipitação pluviométrica ou irrigação, enquanto que uma redução pode ser atribuída a uma perda por evapotranspiração ou drenagem. Segundo Howell et al. (1991), o desempenho do lisímetro de pesagem, na quantificação destas variáveis, pode ser avaliado conhecendo-se a resolução do equipamento, que indica o menor incremento de massa detectado na escala de medição, a precisão, que se refere a repetibilidade e estabilidade da mensuração, e a exatidão, a qual representa a relação entre valor estimado e o valor real.

De acordo com o princípio de pesagem adotado, os lisímetros podem ser classificados em lisímetro de pesagem mecânica, eletrônica, hidráulica e flutuante, sendo também possível à combinação destes princípios em um mesmo lisímetro (ABOUKHALED et al., 1982; HOWELL et al., 1991). Quanto ao tamanho, Howell et al. (1991) afirmam que existem lisímetros que possuem área de superfície que variam desde 1 a 29 m^2, enquanto que a profundidade pode atingir mais de 2,5m. Segundo Khan et al. (1993), as referências bibliográficas indicam uma grande variação no tamanho do tanque do lisímetro devido, principalmente, aos objetivos específicos de cada estudo, não obstante, 1 m^2 de área de superfície por 1 m de profundidade parece ser a dimensão média, em torno da qual a maioria dos lisímetros foi construída.

Com relação ao custo de construção, Aboukhaled et al. (1982) ressaltam que esta variável, dependendo de complexidade do lisímetro, pode limitar o uso deste equipamento somente aos centros de pesquisas. De acordo com Howell et al. (1995), a área da superfície e a profundidade do lisímetro pesagem são as características que mais influenciam o custo de construção do lisímetro, a seleção do mecanismo de pesagem e a pesagem da massa de solo, sendo que Tripathi et al. (1987) citam que os lisímetros de pesagem utilizados na determinação da evapotranspiração requerem, na maioria das vezes, elevados investimentos de capital, sofisticados sistemas de pesagem e coleta de dados.

Por sua vez, Kruse e Neale (1991) defendem que o lisímetro de pesagem hidráulica apresenta menor custo e são mais fáceis de construir do que aqueles que utilizam sistemas de pesagem eletrônicos e complexos, sendo utilizado na medição da evapotranspiração durante muitas décadas.

Neste equipamento, as variações de massa de um bloco do solo são convertidas em pressão, a qual é registrada em um piezômetro. A diferença entre duas leituras consecutivas, registradas neste sensor, é então convertida em precipitação pluviométrica, irrigação, evaporação, transpiração ou evapotranspiração (GLOVER; FORSGATE, 1962 apud FORSGATE et al., 1965).

Para que os dados de evapotranspiração sejam os mais representativos possíveis da área ao redor, a instalação, manutenção e manejo do lisímetro exige alguns cuidados. Assim, Allen et al. (1991) e Barani e Khanjani (2002) recomendam que

o lisímetro apresente as mesmas características da área circunvizinha, com solo, ou substrato, de mesma estrutura, granulometria, densidade, umidade, profundidade, drenagem, entre outros atributos, e com planta de mesmo estádio de desenvolvimento, área foliar, altura, sistema radicular e densidade de plantio.

Atualmente, há relatos na literatura sobre o emprego de lisímetros em estudos científicos realizados com sucesso no interior de casas de vegetação (ATARASSI, 2004; LANTHALER, 2004; MEIJER et al., 1985; ROSENBERG et al., 1989). Todavia, o emprego deste equipamento em viveiros comerciais possui algumas peculiaridades que devem ser respeitas para tornar viável a sua adoção.

Inicialmente, deve-se considerar que o estabelecimento de um ambiente protegido pode ser bastante dispendioso para o viveiristas, fazendo com que este utilize ao máximo a área interna para o cultivo, reduzindo-se o espaço ocioso, o qual é utilizado geralmente para o trânsito de equipamentos agrícolas, tratos culturais e condução da cultura. A utilização destes equipamentos para determinar a evapotranspiração pode ser então limitada, devido à redução da área de cultivo.

Outro fato que poderia restringir o seu emprego seria o custo do equipamento. No interior de uma casa de vegetação é comum encontrar diversas variedades de mudas cítricas, em vários estádios de desenvolvimento, cada qual com uma demanda hídrica distinta. Assim, a construção de um lisímetro, para cada um destes grupos de planta, seria economicamente inviável para o viveirista.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver, construir e calibrar um lisímetro móvel, de pesagem hidráulica, de baixo custo de construção, que pudesse ser utilizado para determinar a demanda hídrica de mudas cítricas, de distintas variedades e estádio de desenvolvimento.

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Material e Métodos

3.2.1.1 Local de construção e calibração do lisímetro

Os lisímetros foram construídos e calibrados nas dependências do Departamento de Engenharia Rural, com coordenadas geográficas 22°42’ de Latitude Sul e 47°38’ de Longitude Oeste e altitude média de 540m, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, em Piracicaba, SP.

3.2.1.2 Critério utilizado para projetar o lisímetro

Antes do início do projeto, foram estabelecidos alguns critérios que deveriam ser respeitados, viabilizando-se assim o emprego do lisímetro na determinação da demanda hídrica de mudas cítricas, como:

- ✓ A estrutura de pesagem deveria ser móvel, permitindo o deslocamento para cada grupo distinto de mudas e diferentes estufas, através de movimento bi-direcional, para interferir o mínimo possível nos tratos culturais realizados na casa de vegetação;
- ✓ O mecanismo pesagem seria hidráulico e resistente ao transporte;
- ✓ Deveria ser suficientemente manipulado por apenas um operador;
- ✓ Ser capaz de monitorar mudas representativas de um grupo de interesse;
- ✓ Permitir a desinfestação e desinfecção, realizada através da aplicação de formalina e hipoclorito de sódio;
- ✓ Não alterar a disposição das mudas na bancadas, normalmente utilizadas para o cultivo, mantendo-se a altura padrão em relação ao solo;

- ✓ O container utilizado tradicionalmente em lisímetros deveria ser substituído por uma estrutura que comportaria 64 mudas cítricas, cultivadas em sacola com substrato, respeitando-se assim o sistema de produção atual;
- ✓ Determinar com precisão, exatidão e resolução aceitável a demanda hídrica em períodos menores que um dia;
- ✓ Apresentar baixo custo de construção.

3.2.1.3 Construção da Estrutura de Pesagem Móvel

Através de cordão contínuo de solda elétrica, uniram-se vigas de perfil "U", com 152,4 x 50,8 x 3,18mm de largura (L), profundidade (P) e espessura (E), respectivamente, formando-se uma secção retangular de dimensões 152,4 x 101,6mm. Estas secções foram utilizadas para construir uma Arquitrave e dois “T” invertidos, sendo instalados nestes, reforços laterais dispostos em ângulo de 45°, confeccionado em viga "U", com 76,2 x 38,1 x 2,65m de L, P e E, respectivamente, conforme as Figuras 3.1 (a e b). Os dois “T” invertidos foram acoplados as extremidades da Arquitrave utilizando-se União Parafusada (Figura 3.1c) com 8 parafusos e porcas de aço 10 x 30mm, rosca fina, de cada lado.

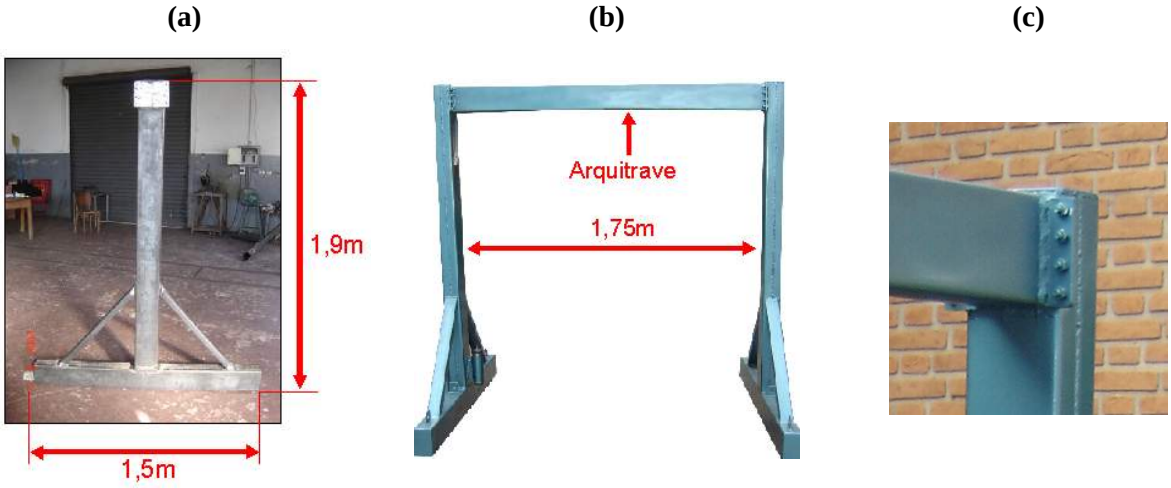

Figura 3.1 - Estrutura metálica tipo “T” Invertido (a), Arquitrave (b) e União Parafusada (c)

Em seguida, foram confeccionados quatro Garfos que receberiam rodas maciças de 203,2 x 55,0mm de diâmetro e largura, respectivamente. Cada Garfo foi unido a uma Plataforma Móvel, utilizando-se parafuso de aço de 22,1 x 95,0 mm, com porca e contra-porca.

Entre o Garfo e a Plataforma foram instaladas juntas de articulação, compostas por arruelas de Nylon de 40 x 55mm devidamente engraxadas. Esta Junta tinham como objetivo a redução do atrito entre estas duas peças, possibilitando ainda a instalação dos parafusos que prenderiam a Plataforma na extremidade inferior dos “T” Invertidos.

Os Garfos também possuíam uma inclinação de 34° em relação ao plano da Plataforma, sendo esta configuração semelhante a da chamada “Roda Louca”.

Na lateral de cada Garfo foi instalado um Pino Trava que possibilitava fixar a roda em quatro posições distintas, 90° uma da outra, perfazendo um movimento de 360° ao redor de um eixo imaginário, perpendicular ao solo.

Desta forma, os Garfos foram dotados de livre movimento, podendo ser travados independentemente nas posições de interesse, permitindo assim o movimento bi-direcional da Estrutura de Pesagem. As Figuras 3.2 (a e b) apresentam as características destes Garfos.

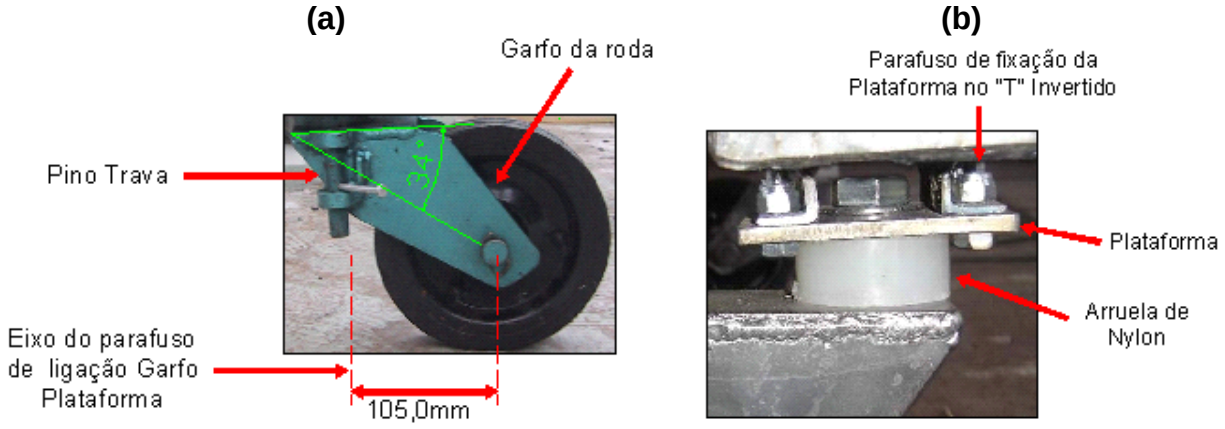

Figura 3.2 - Características da estrutura da roda (a) e Junta de Articulação do Garfo (b)

Para facilitar a movimentação da Estrutura de Pesagem no interior da casa de vegetação foram soldadas arruelas dispostas na base do “T” invertido, em pontos indicados pelas setas vermelhas da Figura 3.3a. Confeccionou também duas Alavancas na forma de “T”, com gancho na extremidade inferior, as quais se conectariam nestas arruelas para o arraste manual da estrutura, como mostra a Figura 3.3b. Quando ociosas, estas alavancas seriam fixadas na extremidade superior do “T” Invertido, no local indicado pela seta azul da Figura 3.3a.

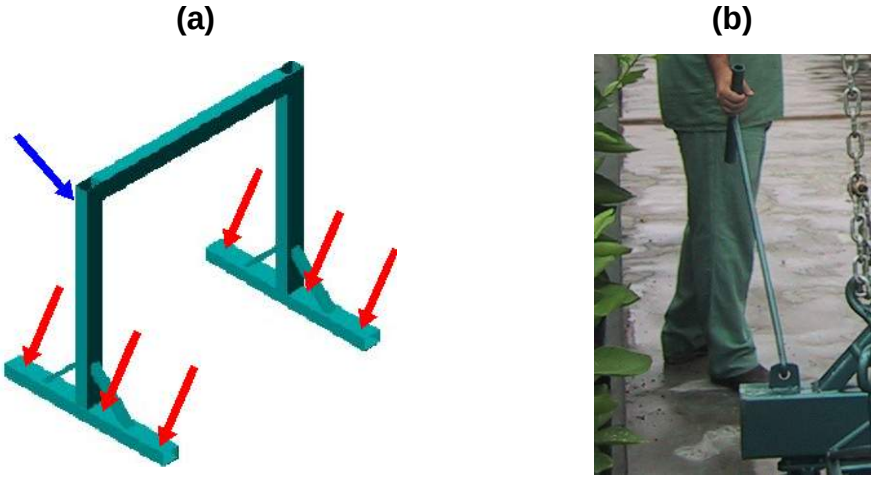

Figura 3.3 - Pontos de arraste manual (a) e Alavanca “T” com gancho (b)

3.2.1.4 Construção do Contentor de Mudas Cítricas

Com o objetivo de se conservar inalteradas as condições em que são cultivadas, mantendo assim a representatividade do grupo de plantas monitorado, foram mantidas as mudas em suas respectivas sacolas de cultivo. Desta forma, foi necessário construir uma estrutura na forma de grade, com dimensões de 1,30 x 1,30 x 0,1m, comprimento, largura e espessura, respectivamente, capaz de servir de suporte a um grupo de mudas a serem pesadas. A malha desta grade foi confeccionada com perfil de aço de secção redonda de 12,5mm de diâmetro, dispostos paralelamente e eqüidistante entre si. Instalou-se também nesta estrutura três pontos de ancoragem, que seriam utilizados para erguer a estrutura e plantas no momento da pesagem. Como esta estrutura, isoladamente, ou seja, sem mudas, não condiz com a definição de contêiner, ou lisímetro (ABOUKHALED et al., 1982), por não apresentar paredes nas laterais e base inferior, optou-se por nomeá-la Contentor de Mudas (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Características do Contentor de Mudas

Com estas dimensões, o Contentor de Mudas possuía a mesma largura das bancadas de mudas da casa de vegetação, sendo capaz de abrigar 8 mudas no sentido da largura e do comprimento, totalizando assim 64 mudas monitoras por pesagem.

Para que as plantas estivessem posicionadas na mesma altura em relação ao solo, conforme determina a legislação atual, foi necessário utilizar suportes fixo no solo, construídos em alvenaria, que funcionavam apenas como apoio, não participando da pesagem.

3.2.1.5 Construção do Sistema de Pesagem

Estimando-se a massa total das estruturas metálicas envolvidas na mensuração e das mudas cítricas no estádio de comercialização, foram construídos dois Sistemas de Pesagem, um com cilindro hidráulico e outro com diafragma, sendo que, como pré-requisito, cada um deveria ser capaz de mensurar até 500kg de massa total. Como margem de segurança, este total foi superestimado em 20%.

Sabendo que a pressão varia com o quociente entre a intensidade de força e a área em que esta força se distribui e tendo como objetivo a redução desta pressão, altura da coluna líquida e volume de mercúrio em um piezômetro, procurou-se utilizar peças hidráulicas que possuíam a maior área de superfície, fossem comumente encontradas no mercado automotivo e de baixo custo de aquisição.

Contudo, devido à baixa disponibilidade de diafragmas e reparos de cilindro hidráulico que atendessem todas essas exigências, foi necessário adotar um Sistema de Alavanca para se reduzir à pressão transmitida ao sistema hidráulico. Esta Alavanca, de secção quadrada, foi construída utilizando-se viga "U", com 76,2 x 38,1 x 2,65m de L, P e E, respectivamente, unidas através de cordão de solda elétrica, a qual pode ser visualizada na Figura 3.5.

Figura 3.5 - Alavanca e sistema de forças atuantes

Na extremidade em que se encontra o ponto A, Figura 3.5, foi soldada perpendicularmente e no centro da Alavanca uma bucha confeccionada em tubo de aço de 26,0 x 90,0mm de diâmetro interno e comprimento, respectivamente. Passando-se

um parafuso de aço 25,5 x 150,0mm por esta bucha, devidamente lubrificada com graxa para se reduzir o atrito, uniu-se a Alavanca a um suporte de secção em “H”, permitindo a rotação de 180° ao redor deste parafuso. Em seguida, foram soldados dois suportes com orifício de diâmetro de 18,0mm no ponto B, formando junto com a alavanca uma secção em forma de “U”, que permitiram a união entre a Alavanca e a estrutura metálica que se conecta ao Contentor de Mudas. No ponto C foi soldado um suporte para fazer a transferência de força da Alavanca para o cilindro hidráulico ou diafragma.

Este Sistema de Alavanca foi projetado considerando que, se um corpo está sob a ação de várias forças, o momento resultante deste sistema de forças em relação a um ponto é a soma algébrica dos momentos das forças componentes em relação ao mesmo ponto. Considerando o sistema de forças apresentados na Figura 3.5, o ponto A encontra-se sobre um apoio e submetido a uma força normal (Fn). No ponto B atua uma força F1, perpendicular e em direção ao solo, resultante da massa das mudas e estruturas metálicas envolvidas na pesagem. Na ausência da força F2, haveria a tendência da alavanca girar em torno do eixo do ponto A, no sentido horário da Figura 3.5, apontando-se para o centro do planeta. Para que isso não ocorra, no Ponto C existe uma força F2, resultante da pressão exercida por uma coluna de mercúrio, que mantêm a alavanca em equilíbrio na horizontal.

Com o objetivo de se possibilitar que o “T” Invertido transitasse livremente, sem se chocar com a bancada de mudas durante a pesagem, o ponto B (Figura 3.5) teve que ser colocado aproximadamente no centro da Arquitrave. Portanto, a máxima distância entre o ponto B e C, que não interferiria no movimento, seria de 0,85m. Com o objetivo de se permitir o livre movimento da alavanca ao redor do eixo do ponto A, reduzindo ao máximo a força F2 e conseqüentemente a pressão no piezômetro de mercúrio, foi estabelecido o espaçamento de 0,15m entre o ponto A e B. Por conseguinte, esta configuração da Alavanca permitiu que a força F2 fosse reduzida em aproximadamente 6,7 vezes em relação à força F1, mantendo assim o equilíbrio da estrutura.

Para transferir a massa do Contentor de Mudas ao ponto B (Figura 3.5), construiu se uma estrutura metálica soldando-se, em um cubo de aço, três braços de perfil em “U”, dispostos eqüidistantes, em ângulo de 120°. Esta estrutura recebeu o nome de Estrela, por apresentar a forma de uma de três pontas. No centro da Estrela, foram

soldados dois suportes com orifícios de diâmetro de 21,0mm, formando um perfil em “U” com o cubo. A Estrela foi então fixada ao ponto B através de um pino de 20,0mm de diâmetro, passando a fazer parte da estrutura móvel de pesagem. Na extremidade de cada braço da Estrela foram instaladas correntes e ganchos para facilitar a conexão entre a Estrela e Contentor de Mudas no momento da pesagem, como pode ser observado na Figura 3.6.

Figura 3.6 - Estrutura metálica Estrela, com correntes e ganchos de conexão

3.2.1.5.1 Sistema de Pesagem utilizando cilindro hidráulico

Para que a força peso F2 resultante no ponto C (Figura 3.5) fosse convertida em pressão, construiu-se um cilindro hidráulico utilizando-se um tubo de aço trefilado 1020 de 50,8 x 200mm de diâmetro interno e comprimento, respectivamente. Uma das extremidades deste tubo foi fechada, soldando-se uma tampa, que continha um orifício com rosca no centro, no qual seria conectado o microtubo condutor de fluído. Na outra extremidade foram feitos dois canais em torno da circunferência do cilindro, um externo para a instalação do guarda-pó e outro interno para a trava do êmbolo. Um suporte com três orifícios de 10mm de diâmetros também foi soldado na parede externa cilindro hidráulico para parafusá-lo em um dos dois “T” Invertidos da estrutura de pesagem. A Figura 3.7 (a e b) apresenta os detalhes deste cilindro e reparo.

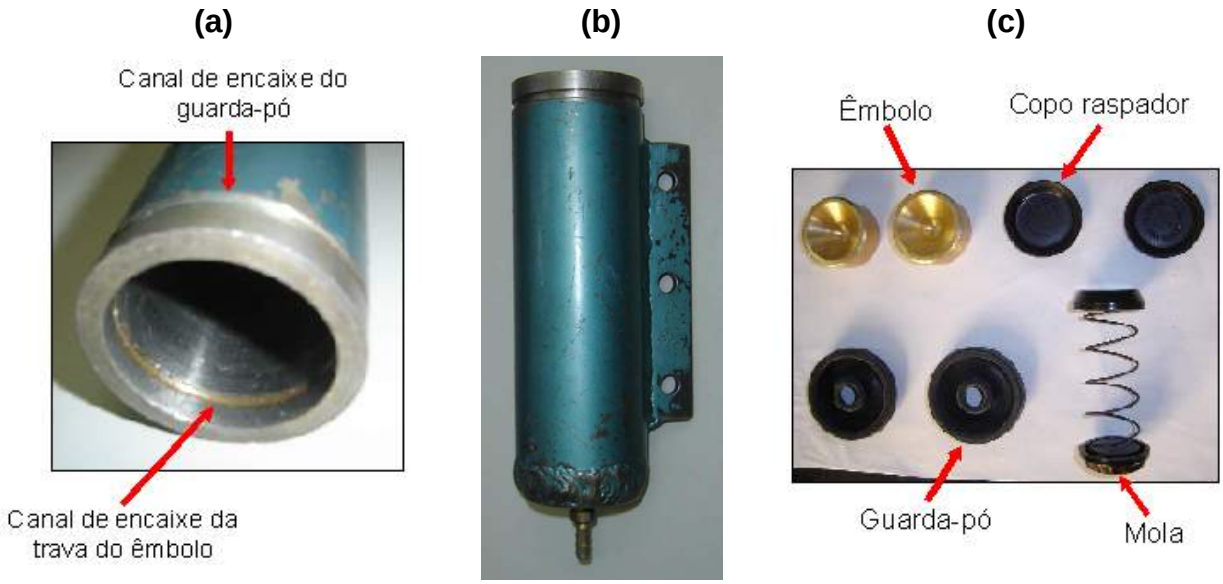

Figura 3.7 - Canais de assentamento da trava do êmbolo e guarda-pó (a), cilindro hidráulico (b) e reparo (c)

As dimensões do cilindro hidráulico foram definidas a partir do reparo encontrado, que atenderia os pré-requisitos de baixo custo de aquisição, maior diâmetro e maior disponibilidade no mercado automotivo. Tal reparo era o mesmo utilizado no cilindro de 2” do freio traseiro do caminhão Mercedes-Benz 1313, sendo constituído por dois êmbolos de alumínio, uma mola, dois guarda-pó e duas borrachas tipo Copo Raspador (Figura 3.7c). Contudo, no cilindro hidráulico do lisímetro foi utilizado apenas um êmbolo, um guarda-pó e uma borracha tipo Copo Raspador, descartando as demais peças do reparo.

O cilindro hidráulico foi instalado na base do “T” Invertido, visando-se à redução da altura da coluna de mercúrio em relação ao solo. Por conseguinte, a transmissão da força F2 (Figura 3.5) para o êmbolo do cilindro hidráulico teve que ser realizada através de uma Haste, como mostra a Figura 3.8.

Figura 3.8 - Haste do cilindro hidráulico

3.2.1.5.2 Sistema de Pesagem utilizando diafragma

Neste sistema, utilizou-se um diafragma de borracha (Figura 3.9a) de 72,0mm de diâmetro (ápice do cone) para converter a força peso F2 (Figura 3.5) em pressão. Este diafragma era semelhante ao usado na cuíca de freio dianteiro do caminhão Volkswagen, existindo vários fabricantes, como por exemplo o Ravel, que produz esta peça sob o código 143120.

Para que a área superior deste diafragma fosse mantida constante quando submetida à força F2, foi necessário instalar um disco de aço de 72,0mm de diâmetro. Para tanto, o diafragma foi furado no centro, sendo posteriormente parafusado o disco neste local, utilizando-se um pino com fio de rosca na extremidade, arruelas e porca 10mm.

Construiu-se também um Suporte de Diafragma, soldando-se um chapa de formato triangular em um disco de aço com 130,0mm de diâmetro. Este disco foi então furado, recebendo fio de rosca 10,0mm para instalação a conexão do microtubo.

Considerando que este sistema trabalharia com água e visando evitar a oxidação do metal, realizou-se o emborrachamento do Suporte de Diafragma com o produto denominado Batida de Pedra, utilizado comumente no assoalho dos automóveis. Em

seguida, o diafragma foi unido ao Suporte de Diafragma através de abraçadeiras de perfil em “V”. Para unir a chapa triangular ao “T” invertido foram feitos três orifícios de 10,0mm de diâmetro, sendo então parafusada logo abaixo do ponto C (Figura 3.5). As características deste dispositivo podem ser visualizadas na Figura 3.9b.

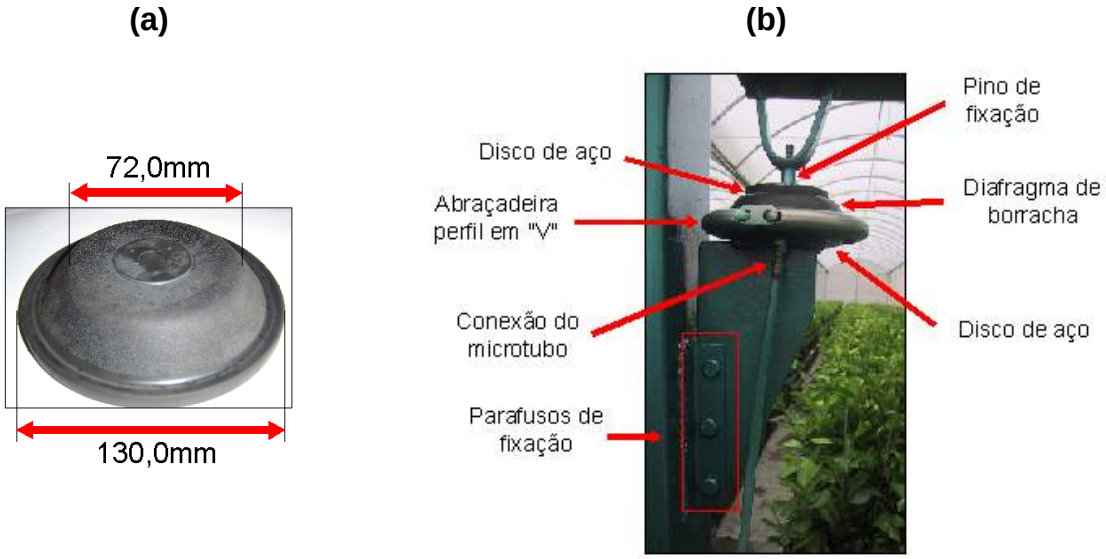

Figura 3.9 - Características do diafragma de borracha (a) e Suporte de Diafragma (b)

3.2.1.6 Construção do Piezômetro

Utilizou-se microtubo de polietileno transparente de 4,6mm de diâmetro interno para transferir a pressão do interior do Cilindro Hidráulico, ou Diafragma, para um reservatório de mercúrio e posteriormente para uma coluna líquida.

Este reservatório foi construído com um tubo de vidro de 30 x 120mm, diâmetro interno e comprimento, respectivamente. Suas extremidades foram lacradas utilizando-se discos de Nylon de 10mm de espessura, pressionados contra o tubo de vidro através de quatro parafusos com porcas, de rosca 3,5 mm. Cada disco de Nylon foi dotado de um canal para a instalação do anel de vedação e um orifício central, com rosca 10mm, para a conexão do microtubo. Na Figura 3.10a podem ser observadas as características deste reservatório de mercúrio.

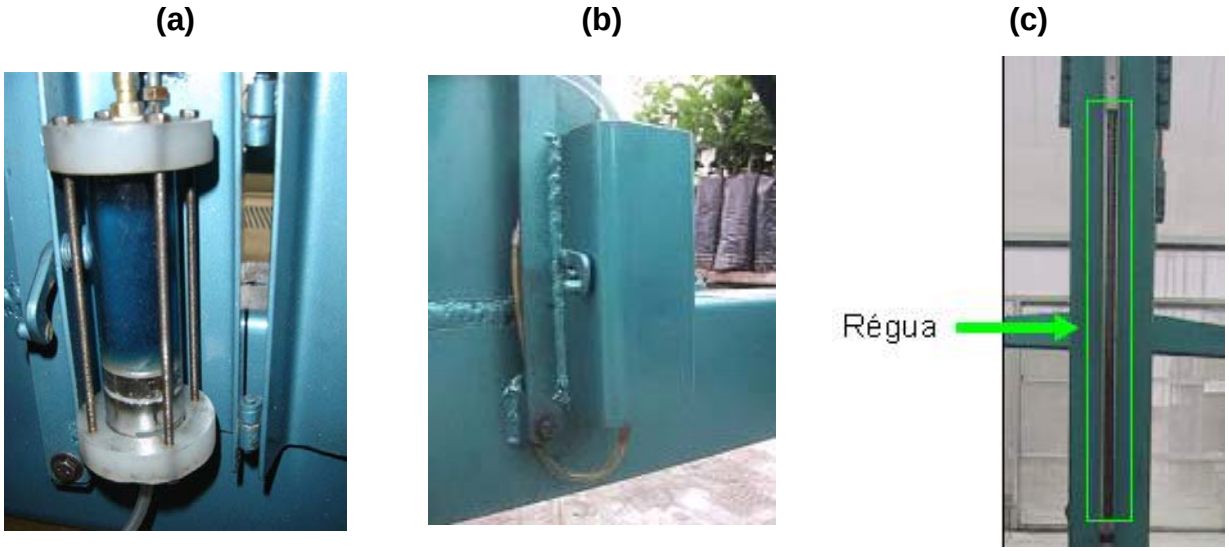

Figura 3.10 - Reservatório de Mercúrio (a), Armadura (b) e Régua(c)

Visando a redução de altura da coluna líquida do piezômetro em relação ao solo, instalou-se o reservatório de mercúrio na base do “T” invertido. Para evitar que este recipiente fosse danificado acidentalmente durante a movimentação da estrutura de pesagem próxima das bancadas, confeccionou-se uma Armadura de aço para protegê-lo, como mostra a Figura 3.10b.

Instalou-se no “T” Invertido uma Régua milimetrada (Figura 3.10c) para mensurar a variação de altura da coluna líquida no piezômetro, sendo esta devidamente acoplada a um tubo de vidro transparente de 4,9 x 800mm, de diâmetro interno e comprimento, respectivamente. Em uma das extremidades deste tubo foi conectado um microtubo, ligando-o ao reservatório de mercúrio.

Posteriormente, o sistema foi preenchido com líquido e mercúrio, tomando-se o cuidado de evitar a entrada de bolhas de ar, o que poderia causar erros nas leituras do piezômetro.

Com o objetivo de se evitar que a parede do cilindro hidráulico oxidasse, ou que seu Copo Raspador fosse deteriorado, empregou-se o óleo de freio (D3) automotivo para transferir a pressão para o piezômetro (Figura 3.10a). Assim, o cilindro, seu microtubo e aproximadamente a metade do reservatório de mercúrio foram preenchidos

com este óleo. Em seguidas, adicionou-se 45mL de mercúrio, completando o reservatório e parte do microtubo que se conectava a Régua.

O mesmo processo foi repetido no sistema que trabalhava com diafragma, porém, em vez de óleo de freio, utilizou-se água destilada, uma vez que o Suporte do Diafragma havia sido anteriormente emborrachado (Item 3.2.1.5.2).

Nesta fase de enchimento do sistema hidráulico, constatou-se que a pressurização do mesmo poderia melhorar o desempenho do equipamento, uma vez que a deformação do diafragma de borracha seria menor no momento da pesagem. Assim, utilizando-se uma seringa, introduziu-se água no interior sistema até atingir-se uma pressão de aproximadamente 400mm de coluna de mercúrio. Logo acima desta coluna de mercúrio foi necessário adicionar uma outra constituída por água destilada e corante, para que a variação de leitura fosse detectada em uma altura cômoda para o operador do lisímetro. Na ausência desta coluna de água, o operador teria que se inclinar para fazer a leitura na coluna de mercúrio, uma vez que a pressão neste sistema era menor do que naquele com cilindro hidráulico, devido à diferença de área em que a força F2 atuava.

3.2.1.7 Construção do Sistema de Levantamento do Contentor de Mudas

Confeccionou-se um Carretel Enrolador de cabo de aço e um Sistema de Roldana para que os 400kg de massa, referentes as 64 mudas cítricas, Estrela e Contentor, pudessem ser erguidos, transferindo-se a força peso para o Sistema de Alavanca.

O Carretel foi construído soldando-se um tubo de aço de 51,0mm de diâmetro por 300mm de comprimento em uma engrenagem de 12 dentes recurvos. Este dispositivo foi unido em seguida ao “T” Invertido utilizando-se um suporte com dois mancais soldados a esta estrutura. Em uma das extremidades do tubo da catraca foram feitos dois orifícios de 21mm de diâmetro que permitiam a introdução de uma alavanca de aço carbono, de 600mm de comprimento, utilizada para girar o Carretel Enrolador.

No Suporte de Mancais foi instalada uma Trava de Catraca, no formato de vírgula, que permitia travar o Contentor de Mudas na posição de pesagem. A Figura 3.11a apresenta as características do Carretel Enrolador, enquanto que a Figura 3.11b mostra a Trava da Catraca.

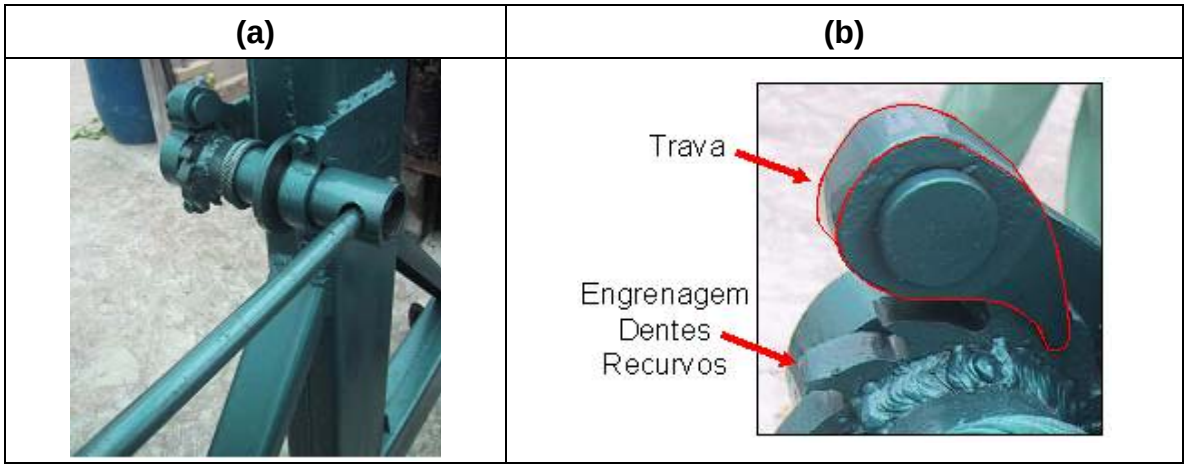

Figura 3.11 - Características do Carretel Enrolador (a) e Trava da Catraca (b)

Utilizando-se 6m de cabo de aço de 10mm de diâmetro, prendeu-se uma das extremidades no Carretel Enrolador e a outra no suporte de secção em “H”. Devido ao local em que estas estruturas se encontravam instaladas, a direção da força exercida no carretel teve que ser modificada até chegar ao Suporte “H”, utilizando-se para tal um Sistema de Roldanas (Figura 3.12a).

O Suporte “H”, mostrado na Figura 3.12b, foi confeccionado soldando-se dois perfis de aço de secção redonda, com 27,0mm de diâmetro por 290,0mm de comprimento, em uma chapa de aço de 180,0 x 77,0 x 15,0mm, C, L e E, respectivamente, que possuía um orifício central de 12,0mm, na qual foi introduzido o cabo de aço. Na face oposta da chapa em que se encontram os dois eixos, foram soldadas duas chapas de aço, com 70,0 x 17,0 x 10,0mm, C, L e E, respectivamente, cada uma com um orifício de 25,6mm de diâmetro, que receberiam o parafuso de apoio (ponto A) da Alavanca apresentada na Figura 3.5.

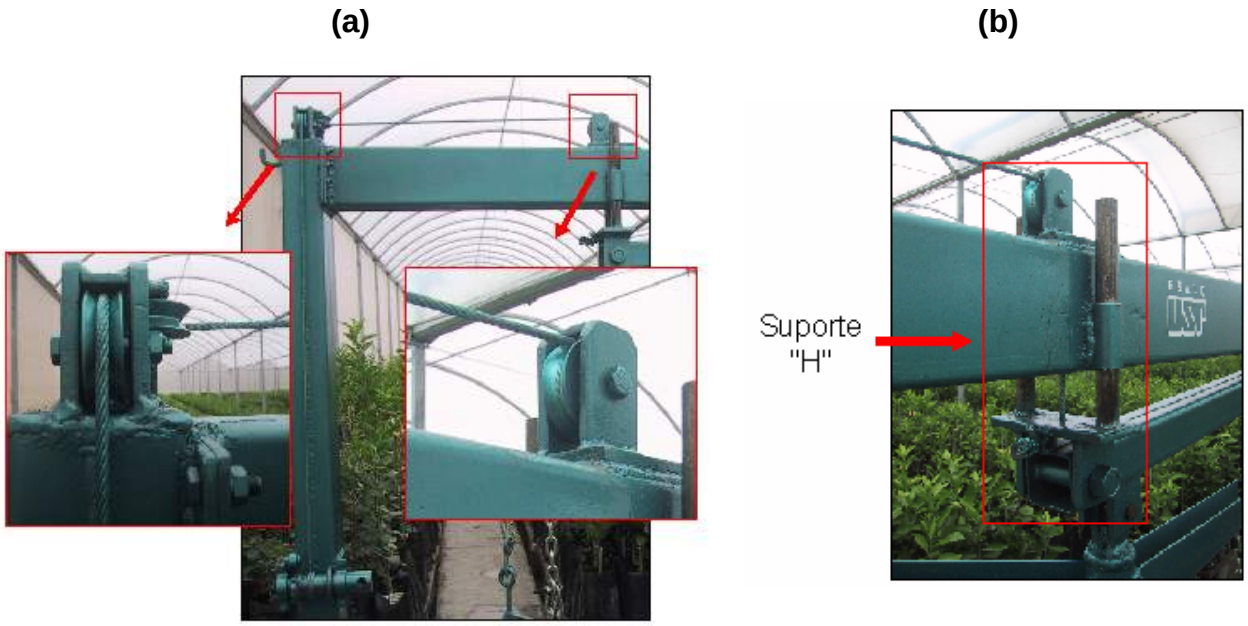

Figura 3.12 - Características do Sistema de Roldanas (a) e Suporte “H” (b)

3.2.1.8 Calibração do lisímetro

A calibração do lisímetro foi realizada em ambiente fechado, sem interferência de ventos, utilizando-se um reservatório de água com capacidade de 500L, colocado sobre o Contentor de Mudas. Este reservatório foi preenchido com água até que a massa do Contentor, Estrela e reservatório, somados, atingissem aproximadamente 400kg.

Em seguida, foram retirados 142L de água no total, em 35 volumes, que variaram aleatoriamente de 1 a 9L, caracterizando assim uma calibração dinâmica. Ao mesmo tempo, eram anotadas as correspondentes leituras registradas na Régua. Da mesma forma, foram posteriormente acrescentados 30 volumes, até atingir a massa inicial.

Para simular a operação no interior da casa de vegetação, o Contentor de Mudas era depositado sobre seu suporte a cada pesagem, reduzindo a pressão hidráulica do sistema. Somente então se realizava a retirada, ou adição, de um volume de água conhecido. Em seguida, levantando-o, aguardava-se cerca de um minuto para a estabilização da coluna líquida e efetuava-se a leitura na Régua.

3.2.1.9 Análise da performance do lisímetro

A avaliação da performance do lisímetro foi baseada nos resultados obtidos em regressões lineares e índice de Concordância.

A regressão linear foi realizada considerando a variação de massa adicionada, ou retirada, e leitura registrada na Régua. Optou-se também por ajustar à origem a regressão obtida, visando evitar que a equação matemática gerada estimasse massas com sinal negativo. O coeficiente de determinação (r^2) foi empregado para se descrever à precisão do sistema de pesagem, indicando sua repetibilidade e estabilidade de mensuração.

A exatidão foi determinada a partir do afastamento dos dados estimados em relação aos reais. Willmott et al. (1985) relatam que, matematicamente, essa aproximação poderia ser expressa por um índice denominado Concordância (d). Este índice possui uma magnitude que varia de 0 a 1, sendo que quanto maior for o seu valor, melhor é a concordância. A eq. (4) descreve a forma de obtenção do índice de Concordância:

$$d = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (E_i - R_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left[\left| E - \overline{M} \right| + \left| R - \overline{M} \right| \right]^2} \right) \qquad (4)$$

em que:

d - Concordância, adimensional;

E - dado estimado;

R - dado real;

$\overline{M}$ - média dos dados reais.

3.2.2 Resultado e discussão

A solução encontrada para se viabilizar a lisimetria em casa de vegetação, com grupos de plantas muito heterogêneos, foi o emprego de uma estrutura móvel, capaz de pesar, isoladamente, vários Contentores de Mudas, dispostos na mesma casa de vegetação e em outras. Deste modo, o número de contentores seria diretamente proporcional ao número de variedades cultivadas e estádio de desenvolvimento de cada uma, enquanto que o número de estruturas móveis de pesagem seria função do número de contentores a ser pesado por dia.

Considerando que a exatidão e a precisão da mensuração de um dado serão sempre limitadas pela capacidade do equipamento utilizado, além da habilidade do deu operador e noção do valor real, pode-se afirmar que o lisímetro com cilindro hidráulico apresentou um desempenho insatisfatório. Isto se deve em parte ao fato que as respostas à adição, ou retirada, de volumes de água eram muito lentas, sendo necessários de 5 a 20 minutos para que a coluna de mercúrio se estabilizasse no piezômetro.

Analisando-se este sistema de pesagem, verificou-se que isto poderia ter sido causado devido às características construtivas do Copo Raspador (Figura 3.13a). Sendo industrialmente projetado para impedir o vazamento de fluído, a parede do Copo Raspador tendia a ser cada vez mais pressionada contra a parede do cilindro, à medida que se aumentava à pressão no interior deste. Contudo, esta ação provocava também um aumento de atrito entre a parede do cilindro e Copo Raspador (Figura 3.13b), o que poderia ter tornado a resposta do equipamento mais lenta. Somente variações de massa, equivalentes a uma lâmina de água acima 3,0mm, eram suficientemente capazes de vencer estes atritos.

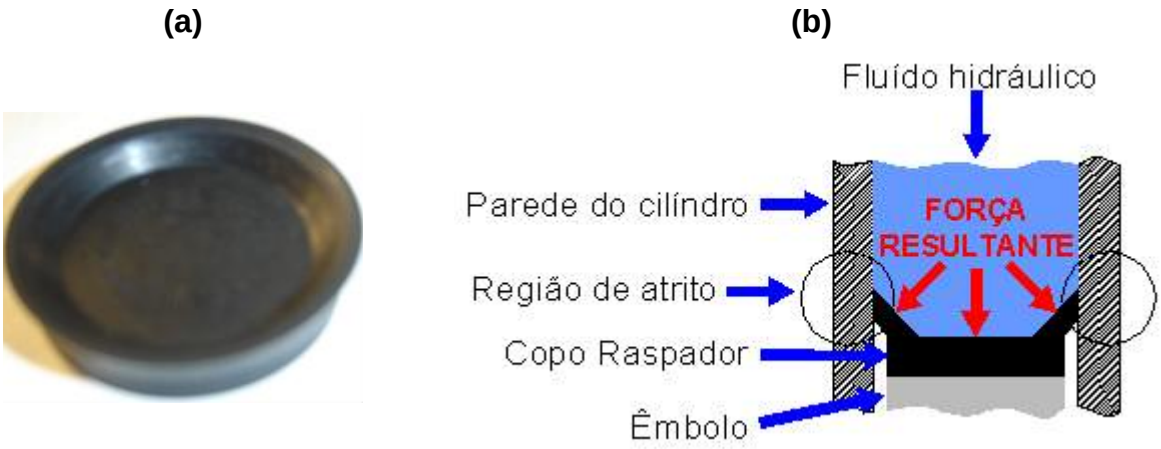

Figura 3.13 - Características do Copo Raspador (a) e esquema de forças atuantes no Copo Raspador (b)

Não somente a lentidão de resposta, mas também os dados obtidos na pesagem, que na maioria das vezes se mostraram inconsistentes, indicaram o desempenho insatisfatório deste lisímetro. Comumente, ao se retirar ou adicionar um volume de água, o equipamento apresentava uma resposta oposta à esperada, sendo que dificilmente ao se abaixar e levantar o Contentor de Mudas, a leitura na Régua se repetia, ainda que o volume total de água se mantivesse inalterado.

De acordo com Aboukhaled et al. (1982) e Pruitt e Angus (1960), a maior dificuldade em se obter medições precisas de variações de umidade do solo, em lisímetros de pesagem, deve-se ao fato que a variação da massa de água é, promocionalmente, muito menor que a massa total do solo. Para tentar resolver este problema, diversos dispositivos de pesagem têm sido desenvolvidos, resultando em índices variados de sucesso. Destarte, a histerese e a lentidão de resposta deste lisímetro inviabilizou o emprego do cilindro hidráulico construído, tornando inviável a realização da calibração deste equipamento.

Contudo, os resultados obtidos com o lisímetro que utilizava diafragma sugerem um desempenho superior ao daquele com cilindro hidráulico. Neste equipamento, o tempo de resposta foi bem menor, sendo que após o levantamento do Contentor de Mudas, era necessário aproximadamente um minuto para que a coluna líquida se estabilizasse na Régua. Conseqüentemente, este comportamento permitiu a calibração do lisímetro, gerando uma equação matemática de primeiro grau, por meio de regressão

linear entre variação do volume de água e leitura da Régua, como apresentados na Figura 3.14a.

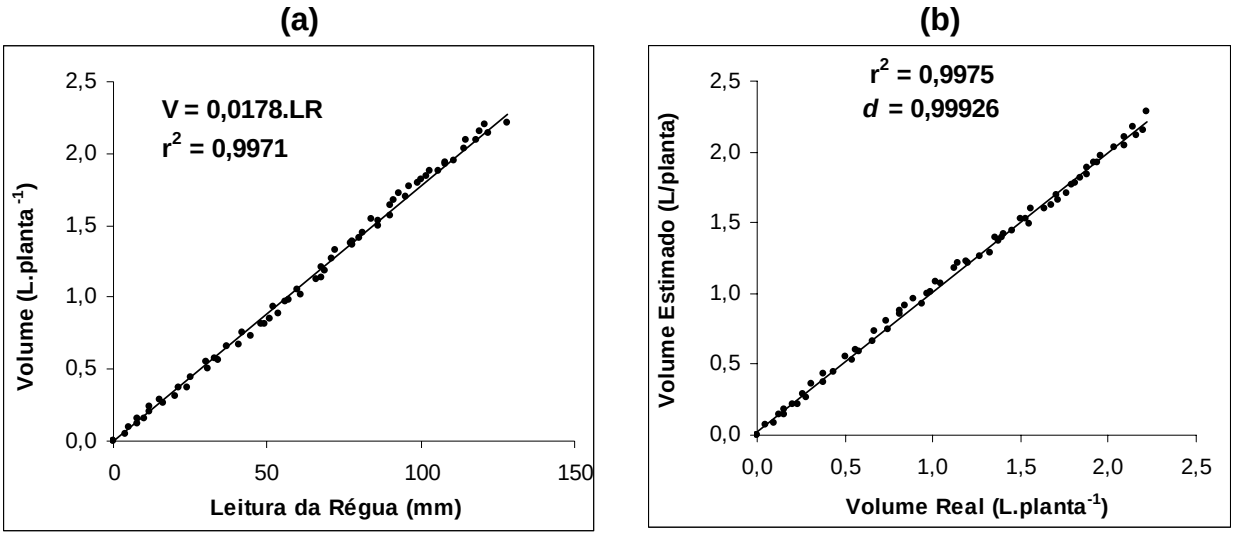

Figura 3.14 - Regressão linear entre a variação do volume de água e leitura da Régua (a) e volume estimado versus o real (b)

Como pode ser observada na Figura 3.14a, a regressão linear apresentou alto coeficiente de determinação (r^2), indicando que o modelo linear descreveu adequadamente a relação volume de água versus leitura da Régua. Nota-se também nesta mesma figura que a linearidade foi excelente e que o equipamento apresentou uma histerese praticamente desprezível. Estes resultados permitiram então validar a eq. (5) que quantifica o volume de água a partir de dados de leitura da Régua do piezômetro:

$$V = 0{,}0178.LR \tag{5}$$

em que:

V - volume de água, L.planta^{-1};

LR - leitura realizada na Régua do piezômetro, mm;

Observando a Figura 3.14a, verifica-se que a calibração resultou em uma variação de massa que correspondeu a um volume de água de aproximadamente 2,2L.planta^{-1}, em incrementos crescentes e decrescentes. Tal variação abrangeu, em ambos os sentidos, a variação média de massa ocorrida normalmente entre o estádio logo após o transplantio da muda cítrica para a sacola até o estádio de comercialização. Assim, o r^2 de 0,9971 aferido na eq. (5) indicou que este lisímetro poderia determinar com excelente precisão a variação de umidade no substrato de cultivo, nesta fase de produção de mudas cítricas. Esta precisão se assemelha muito com as obtidas e validadas por Silva (2005), que construiu um lisímetro de pesagem com células de carga hidráulica, e Allen e Fisher (1990), Campeche (2002), Lauver et al. (1990), Meshkat et al. (1999) e Young et al. (1996), que empregaram células de carga eletrônicas no sistema de pesagem.

A dispersão dos dados estimados através da eq. (5) em relação aos reais, apresentada na Figura 3.14b, também sugere que o lisímetro com diafragma seria capaz de determinar com excelente exatidão a evapotranspiração de mudas cítricas, o que pode ser confirmado pelo coeficiente de determinação de 0,9975 e índice de Concordância (d) de Willmott et al. (1985), que resultou em 0,99926.

Desta forma, para se conhecer a demanda hídrica com precisão e exatidão em um período de interesse, utilizando-se o lisímetro com diafragma, determina-se à variação de volume ocorrido no mesmo, subtraindo-se o volume atual do registrado inicialmente.

Considerando que o olho humano seria capaz de detectar uma variação de 0,5 mm na leitura da Régua do piezômetro, a resolução desta mensuração corresponderia a um volume de 0,009L.planta^{-1}, ou uma evapotranspiração de 0,45mm. Esta resolução pode ser então considerada relativamente menor, quando comparada à resolução de 0,245 mm obtida por Silva (2005), que empregou em um lisímetro de pesagem células de carga hidráulica, confeccionadas em mangueira de butil-propileno e nylon. Contudo, pode-se considerar que esta resolução seja suficiente para realizar o manejo da irrigação em cultivos de mudas cítricas.

Com relação à mobilidade do Sistema de Pesagem, suas dimensões e o emprego do mecanismo de travamento e ângulo de inclinação do Garfo da roda possibilitaram a

livre movimentação entre bancadas de mudas, sendo necessário um único operador para realizar o deslocamento bidirecional do equipamento.

Quanto ao custo de construção, o lisímetro com cilindro hidráulico exigiu um dispêndio de US$607,41 para a aquisição de material, enquanto que o lisímetro com diafragma, US$609,68 (na ocasião, 05/12/2005, US$1,00 = R$2,20). Supondo-se que seriam necessários para a construção de cada um destes equipamentos, aproximadamente, 10 dias de trabalho de 2 indivíduos. Sendo ainda o custo de uma diária equivalente a US$25,00, o dispêndio total médio para a construção seria de US$1108,54 por lisímetro.

Em escala industrial, este custo de produção certamente se reduziria, mas, mesmo este valor estimado pode ser considerado relativamente baixo, principalmente se forem considerados o custo do lisímetro por grupo de plantas monitorado e os benefícios que o manejo racional da irrigação poderia proporcionar. No Anexo A podem ser observados detalhadamente os materiais utilizados, o preço e a participação de cada um no montante investido.

Devido aos objetivos de cada pesquisa, diferentes custos regionais de mão-de-obra, ferramentas disponíveis, características construtivas, tecnologia embarcada e performance de cada lisímetro, entre inúmeros outros fatores, torna-se bastante difícil à comparação deste montante investido com outros relatados na bibliografia. Não obstante, os resultados obtidos por alguns pesquisadores devem ser citados, somente como referência para se delimitar, ainda que resumidamente, o universo de valores investidos na construção destes equipamentos.

Destarte, Allen e Fisher (1990) citam que o custo de construção de um lisímetro de pesagem com célula de carga eletrônica e área de 1 m^2, foi de US$11.000,00, incluindo a mão-de-obra envolvida na construção. Por sua vez, McFarland et al. (1983) construíram um lisímetro de pesagem com célula de carga eletrônica, área de 4,68 m^2 e 1,52 m de profundidade, investindo US$10.700,00, somente na aquisição do material e equipamentos. Heatherly et al. (1980) relataram que o custo do material utilizado na construção de um container lisimétricos, sem o sistema de pesagem, com dimensões 60, 60 e 120 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente, foi de US$200,00. Segundo Meshkat et al. (1999), o custo do material empregado na construção de um

lisímetro de pesagem com célula de carga eletrônica, com capacidade total de aproximadamente 1,5 tonelada, foi de US$391,00, enquanto que o custo da mão-de-obra foi estimado em US$1.000,00.

A obtenção de resultados favoráveis com o lisímetro que utilizava diafragma, contudo, não significa que o equipamento não necessite de melhorias. Assim, recomenda-se que futuramente sejam adicionados ao sistema de alavanca canais de lubrificação para que o mesmo não precise ser desmontado para manutenção. A substituição das rodas maciças por outras maiores e pneumáticas também seria muito importante, caso o piso de tráfego seja muito irregular e acidentado. Visando facilitar a coleta de lixiviados utilizados no monitoramento do substrato e nos estudos de percolação de solutos, deverá ser adicionado um coletor na base do Contentor de Mudas.

Para que o lisímetro funcione adequadamente em condições de campo, um outro fator extremamente importante, que deve ser considerado, é o efeito da temperatura ambiente sobre o Sistema de Pesagem. De acordo com Aboukhaled et al. (1982), a dilatação térmica do fluído e tubos condutores encontra-se entre as principais causas da obtenção de dados inconsistentes em lisímetros de pesagem hidráulica.

Por conseguinte, recomenda-se que as pesagens sejam realizadas sempre no mesmo horário do dia, quando as variações de temperatura sejam mínimas, reduzindo-se assim os efeitos desta variável climática sobre os componentes do lisímetro, principalmente o piezômetro.

3.3 Conclusões

Nas condições em que este trabalho foi realizado, concluiu-se que o lisímetro que utilizava cilindro hidráulico como célula de carga apresentou um desempenho insatisfatório, sendo que a histerese e lentidão de resposta inviabilizaram a realização da calibração deste equipamento, impedindo seu emprego na determinação da demanda hídrica de mudas cítricas.

Não obstante, os resultados obtidos com o lisímetro que utilizava célula de carga hidráulica construída com diafragma indicaram um desempenho superior ao daquele com cilindro hidráulico. A regressão linear entre o volume de água e leitura da Régua resultou na equação matemática V=0,0178.LR, onde V é o volume de água, L.planta^{-1}, e LR é a leitura realizada na Régua do piezômetro, mm. O coeficiente de determinação (r^2) de 0,9971 aferido nesta regressão sugeriu que o equipamento apresentou uma excelente precisão, sendo a histerese considerada desprezível. O r^2 de 0,9975, originado da regressão entre o volume estimado por esta equação e o volume real registrado, assim como o índice de Concordância (d) de 0,99926, permitiu concluir que este lisímetro também possuía uma excelente exatidão na determinação da variação de umidade, sendo que sua resolução correspondia a uma lâmina de água de 0,45mm.

O investimento médio estimado para a construção foi de US$1.108,54, por lisímetro, incluindo material e mão-de-obra.

A mobilidade apresentada pelo Sistema de Pesagem foi suficiente para permitir a livre movimentação entre bancadas de mudas, exigindo para tanto um único operador.

Referências

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R.G.; FISHER, D.K. Low-cost electronic weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 6, p. 1823-1833, 1990.

ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O.; JENSEN, M.E. Environmental requirements of lysimeters. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 170-181.

ATARASSI, R.T. **Modelagem do balanço de energia do dossel da cultura do pimentão em casa de vegetação**. 2004. 70 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BARANI, G.A; KHANJANI, M.J. A large electronic weighing lysimeter system: design and installation. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 38, n. 4, p. 1053-1060, Aug. 2002.

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.)**. 2002. 67 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, S. A. Regulamentação atual da agência de defesa agropecuária para produção, estocagem, comércio, transporte e plantio de mudas cítricas no Estado de São Paulo. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 1, p. 199-239, 2003.

CORWIN, D.L.; LEMERT, R.D. Construction and evaluation of an inexpensive weighing lysimeter for studying contaminant transport. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 15, p. 107-123, 1994.

FORSGATE, J. A.; HOSEGOOD, P. H.; McCULLOCH, J. S. G. Design and installation of semi-enclosed hydraulic lysimeters. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 2, p. 43-52, 1965.

FUNDECITRUS. Disponível em: <www.fundecitrus.com.br>. Acesso em: 20 mar. 2006.

HEATHERLY, L.G.; Mc MICHAEL, B.L.; GINN, L.H. A weighing lysimeter for use in isolated field areas. **Agronomy Journal**, Madison v. 72, n. 5, p. 845-847, 1980.

HOWELL, T.A.; McCORMICK, R.L.; PHENE, C.J.; Design and installation of large weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 1, p. 106-112, 117, 1985.

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; JENSEN, M.E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p.1-9.

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; DUSEK, D.A.; MAREK, T.H. Calibration and scale performance of Bushland weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 4, p. 1019-1024, 1995.

KHAN, B.R.; MAINUDDIN, M.; MOLLA, M.N. Design, construction and testing of a lysimeter for a study of evapotranspiration of different crops. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 23, p. 183-197, 1993.

KRUSE, E.G.; NEALE, C.M.U. Hydraulic weighing lysimeter measurement errors. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p.113-141.

LANTHALER, C. **Lysimeter stations and soil hydrology measuring sites in Europe-purpose, equipment, research results, future developments**. 2004. Diploma thesis (Magistra der Naturwissenschaften) - School of Natural Sciences at the Karl-Franzens-University Graz, Graz, 2004. Disponível em: <http://www.lysimeter.at>. Acesso em: 18 out. 2005.

LAUVER, T.L.; MANDL, R.H.; KOHUT, R.J.; LAURENCE, J.A. A weighing lysimeter for determining water loss in red spruce saplings (*Picea rubens* SARG.). **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 30, n. 2, p. 157-164, 1990.

MARTINS, S.R. PEIL, R.M.; SCHWENGBER, J.E.; ASSIS, F.N.; MENDEZ, M.E.G. Produção de melão em função de diferentes sistemas de condução de plantas em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 1, p. 24-30, 1998.

McFARLAND, M.J.; WORTHINGTON, J.W.; NEWMAN, J.S. Design, installation and operation of a twin weighing lysimeter for fruit-trees. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 6, p. 1717-1721, 1983.

MEIJER, J.; BOTH, G. P. A.; STANGHELLINI, C.; UDINK TEN CAMT, A. J. Development and application of a sensitive, high precision weighing lysimeter for use in greenhouses. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v. 32, p. 321-336, 1985.

MESHKAT, M.; WARNER, R.C.; WALTON, L.R. Lysimeter design, construction, and instrumentation for assessing evaporation from a large undisturbed soil monolith. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 15, n. 4, p. 303-308, 1999.

MOSS, G.I. Propagation of citrus for future plantings. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 3., 1978, Sydney. **Proceedings...** Sydney: International Society of Citriculture, 1978. p. 132-135.

OLIVEIRA, C.R.; BARRETO, E.A.; FIGUEIREDO, G.J.B.; NEVES, J.P.S.; ANDRADE, L.A.; MAKIMOTO, P.; DIAS, W.T. **Cultivo em ambiente protegido**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1997. 31 p. (CATI. Boletim Técnico, 232).

OLIVEIRA, M.R.V. de. O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.8, p.1049-1060, ago.1995.

PRUEGER, J.H.; HATFIELD, J.L.; AASE, J. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 730-736, 1997.

PRUITT, W.O.; ANGUS, D.E. Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 3, n. 2, p. 13-18, 1960.

RITCHIE, J.T.; BURNETT, E. A precision weighing lysimeter for row crop water used studies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p. 545-549, 1968.

ROSENBERG, N.J.; McKENNEY, M.S.; MARTIN, P. Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and a simulation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 47, p. 303-320, 1989.

SILVA, T.J.A. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de maracujazeiros determinados pelo método do balanço de radiação e lisimetria de pesagem hidráulica**. 2005. 99 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

TRIPATHI, R.P.; KUSHWAHA, H.S.; AGRAWAL, A. A simple non-weighing lysimeter installation with rain shelter. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 41, p. 275-288, 1987.

WILLIANSON, J.G.; CASTLE, W.S. A survey of Florida citrus nurseries. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Society**, Tallahasse, v. 102, p. 78-82, 1989.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for the evaluation and comparision of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

WRIGHT, J.L.; JENSEN, M.E. Development and evaluation of ET models for irrigation scheduling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 21, p. 88-96, 1978.

YOUNG, M.H.; WIERENGA, P.J.; MANCINO, C.F. Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. **Soil Science**, Baltimore, v. 161, n. 8, p. 491-501, Aug. 1996.

YOUNG, M.H.; WIERENGA, P.J.; MANCINO, C.F. Monitoring near-surface soil water storage in Turfgrass using Time Domain Reflectometry and weighing lysimetry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 138-146, 1997.

ANEXO

Anexo A - Descrição, preço e participação de cada material utilizada na construção de um lisímetro de pesagem hidráulica com cilindro hidráulico e outro com diafragma

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (US$)	Sub total (US$)	Proporção (%)
Viga "U" 152,4 x 50,8 x 3,18mm	kg	87,0	1,48	128,52	21,8
Viga "U" 76,2 x 38,1 x 2,65m	kg	32,0	1,48	47,27	8,0
Viga "L" 1,25 x 1,25m	kg	5,0	1,21	6,05	1,0
Perfil de aço de secção redonda 30,0mm	kg	5,0	1,27	6,36	1,1
Tubo redondo 2,65 x 31,75mm	kg	8,0	1,68	13,45	2,3
Perfil de aço de secção redonda 16mm	kg	19,0	1,21	22,97	3,9
Perfil de aço de secção redonda 12,50mm	kg	11,8	1,22	14,37	2,4
Eletrodo de solda 3,25mm	kg	7,3	3,64	26,55	4,5
Perfil de aço de secção quadrada 0,25 x 101,6mm	kg	20,0	1,25	25,00	4,2
Lixa d'água 220	Peça	2,0	1,36	2,73	0,5
Corrente soldada 6,50mm zincada	kg	3,9	3,86	15,07	2,6
Chapa dobrada em "U" 4,75 mm	kg	17,1	2,18	37,40	6,4
Roda maciça de 8" diâmetro com rolamento no cubo	Peça	4,0	9,09	36,36	6,2
Parafuso 3/8 x 1,0" com porca auto-trava	Peça	19,0	0,27	5,18	0,9
Parafuso 10 x 30 mm com porca	Peça	16,0	0,68	10,91	1,9
Parafuso 22,1 x 95,0 mm com porca e contra-porca	Peça	4,0	2,95	11,82	2,0
Parafuso 22,1 x 140,0 mm com porca e contra-porca	Peça	1,0	3,32	3,32	0,6
Roldana	Peça	3,0	7,27	21,82	3,7
Parafuso 10 x 50 mm com porca e contra-porca	Peça	6,0	0,27	1,64	0,3
Cabo de aço 10mm	m	6,0	2,50	15,00	2,5
Arroela de Nylon 55 x 40mm	Peça	4,0	2,27	9,09	1,5
Mercúrio	kg	0,6	118,18	70,91	12,1
Reservatório de mercúrio	Peça	1,0	13,64	13,64	2,3
Régua graduada	Peça	1,0	9,09	9,09	1,5
Tubo de Nylon 11 - 3,175 x 0,58 mm	m	5,0	0,44	2,20	0,4
Conexão macho - 1/8 NPT	Peça	3,0	1,53	4,60	0,8
Esmalte sintético - martelado azul real	L	2,0	8,09	16,18	2,8
Thinner 4116	L	1,0	2,18	2,18	0,4
Disco de lixadeira	Peça	2,0	1,36	2,73	0,5
Graxa	kg	1,0	5,91	5,91	1,0
Subtotal				**588,32**	**100,0**
Diafragma					
Diafragma	Peça	1,0	5,45	5,45	
Abraçadeira de 5" diâmetro - perfil em "V"	Peça	1,0	6,82	6,82	
Chapa de aço 300 x 200 x 15mm	kg	8,0	1,14	9,09	
Subtotal				**21,36**	
Cilindro hidráulico					
Reparo cilindro roda traseiro MBB 1313 - 2"	Peça	1,0	9,77	9,77	
Óleo de freio - D3	L	1,0	6,82	6,82	
Tubo de Aço trefilado 1020 - 50,8 x 200mm	kg	0,5	5,00	2,50	
Subtotal				**19,09**	
Total do lisímetro com diafragma				**609,68**	
Total do lisímetro com cilindro hidráulico				**607,41**	

Cotação em 05/12/2005: US$1,00 = R$2,20

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

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