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

**Desenvolvimento de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em
tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico**

Cícero Renê Almeida Barboza Júnior

**Tese apresentada para obtenção de título de Doutor
em Ciências, Área de concentração: Irrigação e
Drenagem**

**Piracicaba
2011**

Cícero Renê Almeida Barboza Júnior
Engenheiro Agrônomo

Desenvolvimento de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Barboza Júnior, Cícero Renê Almeida

Desenvolvimento de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico / Cícero Renê Almeida Barboza Júnior. - - Piracicaba, 2011.

94 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Cultivo em tubete 2. Deficiência hídrica 3. Evapotranspiração 4. Irrigação
5. Crescimento de mudas 6. Nutrientes 7. Pinhão manso I. Título

CDD 633.85
B239d

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

*Quero dedicar mais esta conquista a minha esposa
Elane Glaisy S. Barboza e minha filha Juliana S.
Barboza, aos meus pais Renê e Luciene Barboza e
aos meus irmãos Sarah Thiciane, André Luiz e
Pitágoras Barboza.*

*Ao meu amigo de infância, Matheus Andrade,
cujo destino impediu de realizar muitos sonhos,
ofereço.*

Essa conquista também é sua meu amigo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde, pela família e por todos os momentos que me proporciona;

A minha esposa Elane Glaisy Silva Barboza por me acompanhar e me ajudar nessa conquista e a minha filha Juliana Silva Barboza, fonte de inspiração e felicidade;

A meus pais, Cícero Renê A. Barboza e Maria Luciene Alves de S. Barboza, por acreditar, dar incentivo, pela criação, fé e esforços para a formação moral e intelectual dos seus filhos;

A meus irmãos, Sarah Thiciane, André Luiz, Pitágoras que sempre acreditaram no meu potencial, dando força e carinho; Aos meu sobrinhos, Ramon e Ana Beatriz;

Aos meus avós, Raimundo (*in memóriam*), Elizete e Maria minha homenagem;

Aos meus tios, em especial Cecília (Teinha), e primos, que sempre me apoiaram;

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por mais esta oportunidade de aperfeiçoar e adquirir novos conhecimentos;

Ao professor Dr. Marcos Vinícius Folegatti, pela orientação, confiança, apoio e incentivo;

Ao meu amigo e conselheiro Dr. Roberto Terumi Atarassi, pela colaboração no trabalho, incentivo, paciência e momentos de reflexão;

Ao Prof. Dr. Sérgio Duarte pela valiosa contribuição nesse trabalho.

Aos Professores do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP pelos ensinamentos, amizade e pela enorme contribuição para minha formação profissional;

Ao grupo de pesquisas do pinhão manso: Adriano Diotto, Janaina Paulino, Danilton Flumignan, Bruno Lena, por toda contribuição na execução do experimento;

A todos os que também me ajudaram no experimento: Elenilson Moreira, Eusímio Fraga, Till Sieker, Jussálvia Pimentel.

Ao amigo Carlos Gonçalves Lima pela ajuda nas análises estatísticas.

Aos amigos e colegas de curso Fábio Rocha, Ronaldo Antônio, Roberto Marano, Antonio Pires, Marinaldo Ferreira, Everaldo Moreira, João Lelis, Rafael Maschio, Roque Pinho, Wanderley Souza e demais colegas pela ajuda, convivência harmoniosa e momentos de descontração;

As secretárias, Davilmar Collevatti, Ângela Derigi, Vanda Zambello e em especial a Beatriz Regina Novaes pela dedicação e constante apoio;

Aos funcionários e amigos Eng. Áureo Santana, Eng. Juarez Amaral, Sr. Antonio Agostinho, Sr. Hélio Gomes, Sr. Luiz Camargo, Sr. Francisco de Oliveira, Gilmar Grigolon, por todo o suporte a poio técnico;

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo;

A bibliotecária Silvia Maria Zinsly pelo auxílio na correção das referências bibliográficas e normatização da tese;

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado!

*"A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho
original."*

Albert Einstein (1879-1955)

*"Minhas ideias levaram as pessoas a
reexaminar a física de Newton.
Naturalmente, alguém um dia irá reexaminar
minhas próprias ideias. Se isto não acontecer
haverá uma falha grosseira em algum lugar."*

Albert Einstein (1879-1955)

*"Bom mesmo é ir a luta com determinação,
abraçar a vida e viver com paixão, perder com
classe e vencer com ousadia, porque o mundo
pertence a quem se atreve e a vida é muito
para ser insignificante"*

Charles Spencer Chaplin (1889-1977)

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS	19
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 Origem, classificação e descrição botânica	25
2.2 Características morfológicas e propriedades da planta.....	26
2.3 Expectativas para o pinhão manso	27
2.4 Produção de mudas em tubetes.....	28
2.5 Produção de mudas em estufa.....	30
2.6 Lisimetria e evapotranspiração.....	31
2.7 Automação da irrigação	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 Estrutura experimental	35
3.2 Bancadas lisimétricas.....	36
3.3 Células de carga das bancadas lisimétricas.....	38
3.4 Características físico-químicas do substrato e da água	39
3.5 Análises e escolha das sementes	40
3.6 Semeadura e irrigação	45
3.7 Manejo automatizado da irrigação	46
3.8 Delineamento experimental.....	48
3.9 Parâmetros de qualidade avaliados	49

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Calibração das bancadas lisimétricas	51
4.2	Sistema eletrônico auxiliar da irrigação	53
4.3	Variáveis microclimáticas no interior da casa de vegetação	55
4.4	Desenvolvimento e qualidade das mudas	57
4.5	Altura do caule e comprimento de raiz	58
4.6	Diâmetro do caule das plantas	61
4.7	Área foliar e número de folhas	63
4.8	Produção de matéria verde e de matéria seca da parte aérea	67
4.9	Produção de matéria fresca e matéria seca radicular	69
4.10	Relações empíricas	72
4.11	Consumo hídrico	74
4.12	Concentrações de macro e micronutrientes nas mudas de pinhão manso	78
5	CONCLUSÕES	81
	REFERÊNCIAS	83
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	89
	ANEXOS	91

RESUMO

Desenvolvimento de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico

Com a crescente procura por alternativas para suprir energeticamente o mundo, cada vez mais, fontes mais limpas e renováveis estão sendo utilizadas. No Brasil, a produção de óleos vegetais visando a geração de energia (biodiesel) ainda é incipiente. Dentre as diferentes espécies de oleaginosas, o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) vem se destacando como uma ótima alternativa no fornecimento de matéria prima para a produção de biodiesel. Informações sobre essa cultura ainda são escassas, principalmente no Brasil, onde há pouco tempo foram iniciadas as pesquisas. A necessidade de informações locais também ressalta a importância da pesquisa com o Pinhão Manso. Com base nessas necessidades, o objetivo desse experimento foi analisar a viabilidade técnica da produção de mudas irrigadas de pinhão manso por sistema de subirrigação e desenvolver um sistema automatizado de manejo. O controle da irrigação foi realizado a partir da variação de peso dos tubetes com as mudas, devido a perda de água por evapotranspiração. No processo de controle dos pesos foram utilizadas células de carga, que monitoraram a variação de peso de um conjunto de tubetes denominado conjunto controle. O delineamento experimental foi em delineamento inteiramente aleatorizado, com quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram quatro níveis de depleção da máxima capacidade de retenção de água (MCRA) apresentada pelo substrato (T1=20%, T2=40%, T3=60% e T4=80% da MCRA). Para se quantificar os efeitos dos tratamentos foram avaliadas semanalmente as seguintes características das mudas: altura e diâmetro do caule, número de folhas e área foliar, bem como a produção de matéria fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular. Os resultados mostram que o tratamento 2 foi o que se destacou dentre os demais, produzindo mudas de melhor qualidade, com maior acúmulo de matéria seca e maior consumo hídrico.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L.; Subirrigação de mudas; Energia renovável; Consumo hídrico

ABSTRACT

Development of seedlings of physic nut (*Jatropha curcas* L.) in plastic tubes and submitted to different levels of water deficit

With the growing demand for alternative energy to meet the world, increasingly more clean and renewable sources are being used. In Brazil, the production of vegetable oils aimed at producing energy (biodiesel) is still incipient. Among the different species of oleaginous plants, jatropha (*Jatropha curcas* L.) has emerged as a great alternative in providing raw material for biodiesel production. Information on this crop are still scarce, especially in Brazil where they recently started research. The need for local information also emphasizes the importance of research with Jatropha. Based on these needs, the aim of this experiment was to analyze the technical viability production of jatropha seedlings irrigated by subirrigation system and develop an automated system management. The irrigation control was carried out from the weight variation of the vials with the seedlings because of water loss through evapotranspiration. In the process of weight control were used load cells, which monitored the weight variation of a set of vials called the control group. The experimental design was the completely randomized with four replications. The treatments were four levels of depletion of the maximum water holding capacity (MCRA) presented by the substrate (T1=20%, T2=40%, T3=60% e T4=80% da MCRA). To quantify the effects of the treatments were evaluated weekly the following characteristics of seedlings: height and diameter of the stem, leaf number and leaf area, and the production of fresh and dry shoot and root. The results show that treatment 2 was what stood out among the others, producing higher quality seedlings with greater dry matter accumulation and increased water consumption.

Keywords: *Jatropha curcas* L.; Subirrigation seedling; Renewable energy; Crop water use

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura experimental. Estufa onde o experimento foi desenvolvido (A) e disposição dos sensores para aquisição dos dados meteorológicos (B)	36
Figura 2 - Bancada lisimétrica (A), grade de sustentação dos tubetes (B), detalhe do dreno superior (C), detalhe do tubo de abastecimento de água (D), parafuso regulador de nível (E) e célula de carga (F).....	37
Figura 3 - Tubulação de PVC que conduzia a água drenada (A), caixas de armazenamento (B).....	38
Figura 4 - Pré-germinação de sementes de pinhão manso em BOD (A) com papel germitest (B), semente sadia germinada (C), semeadura nos tubetes (D) e tubetes prontos para compor a bancada do experimento (E).....	44
Figura 5 - Caixa onde foi homogeneizado o substrato (A) e preenchimento manual dos tubetes (B)	45
Figura 6 - Motobomba de abastecimento, válvulas solenóides (A), bombas de drenagem (B).....	47
Figura 7 - Tanque abastecido (A) e saturação do substrato (B).....	48
Figura 8 - Regressão verificada com a adição e subtração dos pesos, massa (g) e a soma do sinal (mV), registrada pelo datalogger para os quatro lisímetros	52
Figura 9 - Projeto (A) e interface de acionamento óptico isolado (B)	53
Figura 10 - Fluxograma da lógica da programação e funcionamento da interface de acionamento óptico isolado	54
Figura 11 - Variação diária da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação.....	55
Figura 12 - Variação diária da temperatura do ar no interior da casa de vegetação.....	56
Figura 13 - Danos causados às folhas por temperaturas abaixo de 3,5° C. Plantas do tratamento 1 (A), plantas do tratamento 2 (B), folha queimada do tratamento 3 (C) e plantas do tratamento 1, uma semana após os danos (D).....	57

Figura 14 - Altura media de plantas, no decorrer do experimento em função dos níveis de depleção aplicados	59
Figura 15 - Evolução da altura das plantas para cada nível de depleção ao longo dos períodos avaliados	60
Figura 16 - Comprimento de raiz em função do tempo para o período avaliado	61
Figura 17 - Evolução do diâmetro do caule para cada nível de depleção ao longo dos períodos avaliados	62
Figura 18 - Área foliar total por planta, para cada período avaliado após semeadura em função dos níveis de depleções aplicados.....	63
Figura 19 - Número de folhas para cada período avaliado após semeadura em função dos níveis de depleções aplicados.....	65
Figura 20 - Abortamento de folhas no T4, no decorrer do experimento, em função dos níveis de depleção aplicados.....	65
Figura 21 - Área foliar média, para os quatro níveis de depleção, em função de dias após a semeadura.....	66
Figura 22 - Matéria verde aérea para cada período avaliado após semeadura, em função dos níveis de depleção aplicados.....	67
Figura 23 - Matéria verde aérea para cada nível de depleção, em função de dias após semeadura.....	68
Figura 24 - Matéria seca aérea para cada nível de depleção, em função de dias após semeadura	69
Figura 25 - Separação manual das raízes: raízes ainda com substrato (A), processo de separação manual (B), muda de 25 DAS demonstrando o volume de raízes (C), raízes separadas para pesagem (D) e muda com 60 DAS evidenciando a raiz pivotante bem desenvolvida (E)	70
Figura 26 - Matéria fresca radicular em função do tempo para o período avaliado.....	71
Figura 27 - Matéria seca radicular por planta, no decorrer do experimento, em função dos níveis de depleção aplicados.....	72
Figura 28 - Modelo empírico para área foliar total em função do diâmetro do caule { $F=2182,89$; ($p<0,001$); $a=39,706 \pm 0,851$ ($p<0,001$); $b=149,72 \pm 6,645$ ($p<0,001$)}	73

- Figura 29 - Modelo empírico para massa seca aérea em função do diâmetro do caule $\{F=5024,21; (p<0,001); a=0,3814 \pm 0,0054 (p<0,001); b=1,6832 \pm 0,042 (p<0,001)\}$ 73
- Figura 30 - Dia 27/6 ilustrando um dia sem irrigação e a evolução da massa ao longo do dia dos tubetes (A). Condições de radiação global (RG), umidade relativa (UR) e temperatura do ar (T Ar) para o mesmo dia (B)..... 75
- Figura 31 - Evolução da massa dos lisímetros ao longo do dia e irrigação nos tratamentos T1 e T4 no dia 24 de julho (A); evolução da massa dos lisímetros no dia 25 de julho (B) 76
- Figura 32 - Consumo médio por tubete para cada tratamento no período de 60 dias..... 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química da água antes e após ser utilizada no experimento	40
Tabela 2 - Porcentagens de sementes viáveis de pinhão manso obtidas pelos testes de tetrazólio - sementes hidratadas entre papel e com 30% de água na concentração de tetrazólio de 0,5%; resultados do teste de germinação.....	43
Tabela 3 - Resumo da análise de variância e médias das alturas, comprimento de raiz (C Raiz), diâmetro do caule (Diâm), número de folhas (NF), área foliar (AF), área foliar média (AFméd), matéria verde aérea (MVA), matéria verde radicular (MVR), matéria seca aérea (MAS) e matéria seca radicular (MSR) em função dos níveis de depleção.....	58
Tabela 4 - Teores de água e concentrações de macro e micronutrientes na parte aérea de mudas de pinhão manso com 60 dias.....	79
Tabela 5 - Concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de pinhão manso cultivadas em substrato, contendo diferentes doses de fósforo aos 30 dias após a semeadura, estimadas por regressões (adaptado de Lima et al., 2011).....	79

1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações da humanidade atualmente são as mudanças climáticas globais, sendo a principal o aquecimento global, possivelmente gerado em virtude das atividades humanas, dentre elas a queima de combustíveis fósseis, que contribuem com gases do efeito estufa. O aproveitamento de biomassa como fonte de energia é um dos caminhos para o combate do problema.

Em 1988, foi criado o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), com os principais cientistas que estudam o clima e representantes de governos de todo o mundo. Em 1992, a ONU aprovou no Rio de Janeiro a Convenção sobre Mudanças Climáticas, o que levou ao Protocolo de Kyoto. A primeira meta do protocolo (2008-2012) era de reduzir em média 5,2% as emissões de gases de efeito estufa para países desenvolvidos. Porém, muitos cientistas consideram esse valor muito baixo, propondo reduções de 50% até o ano de 2050 para que o aumento de temperatura na Terra não passe de 2° C, considerado o ponto crítico, gerando muitas mudanças irreversíveis para o clima global.

Assim, os países desenvolvidos necessitam cortar drasticamente a emissão desses gases e os em desenvolvimento precisam crescer de forma a combater o desmatamento e promover o uso de energia limpa, como por exemplo, o biodiesel.

O uso do biodiesel traz uma série de benefícios associados à redução dos gases de efeito estufa e de outros poluentes atmosféricos, tais como o enxofre, além da redução do consumo de combustíveis fósseis.

A adoção do biodiesel traz muitas vantagens em relação ao diesel fóssil. A queima do biodiesel reduz em 55% a emissão de fuligem e em 35% a liberação de hidrocarboneto, substância cancerígena. Além disso, o gás carbônico gerado na queima é consumido no processo de fotossíntese realizado nas lavouras de plantas oleaginosas e devolvido à atmosfera como oxigênio. Dessa forma, há um ciclo fechado de produção sem sobras poluentes (CARNIELLI, 2003).

Dentre as matérias primas para obtenção dessa forma de energia, destacam-se como alternativa potencial, as seguintes culturas: soja, girassol, babaçu, dendê (palma de óleo), mamona, amendoim, algodão, coco, macaúba, nabo forrageiro, pequi, buriti e pinhão manso.

Atualmente, o pinhão manso tem se destacado neste cenário como uma das plantas mais discutidas. Esta oleaginosa parece reunir várias particularidades, que a tornam uma ótima opção para ser adotada como uma das alternativas de produção de biodiesel.

O pinhão manso é uma oleaginosa apropriada ao cultivo em quase todo o país devido a sua rusticidade e resistência às condições adversas de clima e solo, principalmente ao estresse hídrico. Sua propagação pode ser feita através de estacas, semeadura direta no campo ou por mudas, sendo esta última alternativa a mais indicada, por permitir boas condições para o crescimento inicial, resultando em melhor estabelecimento no campo. A tecnologia para produção de mudas de pinhão manso ainda está em estudo, pois a cultura não possui tradição de cultivo em nenhum país e os plantios atuais estão sendo feitos sem validação técnica (EMBRAPA, 2007).

No Brasil a produção de mudas em geral é realizada pelo sistema que utiliza sacos de polietileno como recipiente para o substrato onde se desenvolve a muda. Apesar desse sistema ser largamente utilizado, ele apresenta alguns inconvenientes como, maior necessidade de espaço, menor rendimento no plantio e necessidade de maior volume de substrato. Com o intuito de superar as limitações desse sistema, surgiu o sistema de produção de mudas utilizando tubetes de polietileno rígido.

A produção de mudas em tubetes, com substrato adequado, visa obter mudas com sistema radicular bem desenvolvido, livre de pragas, doenças e plantas daninhas, além de utilizar menor espaço físico.

Apesar das vantagens apresentadas pela produção de mudas em tubetes, esse sistema exige a utilização de um substrato com características diferenciadas do utilizado no sistema tradicional. Essa exigência em relação ao substrato está ligada ao volume disponível para o desenvolvimento da muda, que no sistema em tubetes é menor. Sendo assim, os substratos utilizados devem apresentar elevada porosidade

para possibilitar às mudas uma maior eficiência nas trocas gasosas (CO_2 e O_2). Ao mesmo tempo, devem apresentar também boas características de retenção de água para suprir as necessidades hídricas da muda (ARANTES, 2007).

Entre os métodos e técnicas de produção, a escolha do substrato, a adubação adequada, assim como o tipo e as dimensões do recipiente tem grande participação no crescimento e qualidade final das mudas, influenciando diretamente a disponibilidade de nutrientes e água, na arquitetura do sistema radicular e consequentemente afetando a qualidade da muda.

Partindo-se da hipótese de que o pinhão manso pode se tornar uma cultura de grande importância no cenário da produção de biocombustíveis e deve ter a produção de mudas irrigadas em estufa, este trabalho teve como objetivos:

Geral:

- a) Analisar a viabilidade técnica da produção de mudas irrigadas de pinhão manso por sistema de subirrigação em casa de vegetação manejadas por bancadas lisimétricas.
- b) Desenvolver um sistema automatizado de manejo para a subirrigação de mudas em tubetes.

Específicos:

- a) Determinar o nível ideal de depleção da máxima capacidade de retenção de água do substrato, a ser adotado na produção de mudas de pinhão manso em tubetes.
- b) Verificar a demanda hídrica de mudas de pinhão manso, com o uso de bancadas lisimétricas.
- c) Avaliar os aspectos vegetativos das mudas de pinhão manso, frente a diferentes percentagens de depleção de água.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Origem, classificação e descrição botânica

O pinhão manso é uma planta da família Euphorbiaceae, denominada cientificamente *Jatropha curcas* L. e popularmente conhecida no Brasil como pinhão manso, pinhão do Paraguai, purgueira, pinha de purga, grão-de-maluco, pinhão-de-cerca, turba, tartago, medicineira, tapete, siclité, pinhão bravo, pião, pinhão-das-barbadas, sassi, dentre outros (SATURNINO et al., 2005). Em outros países esta espécie é conhecida como: physic nut, purging nut em Inglês, tempate em Honduras e em El Salvador, médicinier, pignon d'Inde, purghere na França, kadam no Nepal, yu-lu-tzu na China, mupuluka em Angola, butuje na Nigéria e piñoncillo no México (DOURADO, 2009). Possui uma maior diversidade nas Américas Central e do Sul, sendo uma planta arbustiva, de crescimento rápido.

É ainda incerto o centro de origem do pinhão manso, mas acredita-se ser o México ou a América Central (HENNING; MITZLAFF, 1995; HELLER, 1996).

A família Euphorbiaceae compreende aproximadamente 8.000 espécies, com cerca de 320 gêneros. O gênero *Jatropha* contém aproximadamente 160 espécies de plantas herbáceas e arbustivas, das quais várias apresentam valor medicinal, ornamental, e outras produzem óleo. A *Jatropha curcas* L., além de ser medicinal, também é produtora de óleo (SUJATHA; DHINGRA, 1993).

O pinhão manso pertence à Classe: *Rosidae*, Ordem: *Malpighiales* Família: *Euphorbiaceae*, Tribo: *Hippomaneae*, SubTribo: *Jatropheae*, Gênero: *Jatropha*, Seção: *Curcas*, Espécie: *Jatropha curcas* L.

O seu número de cromossomos é $2n = 18$. Também foram realizados estudos com a espécie *Jatropha curcas* L. que apresentam indivíduos tetraplóides $2n = 44$. Em sua normalidade as espécies de *Jatropha curcas* L. apresentam indivíduos $2n = 22$. A espécie *Jatropha curcas* L. ainda não apresenta variedades melhoradas ou cultivares (SATURNINO et al. 2005).

A planta é monóica e possui flores unissexuais; ocasionalmente ocorrem flores hermafroditas (HELLER, 1996).

Esta planta está bem adaptada a várias regiões do Brasil. Foi introduzida por navegadores portugueses, no final do século XVIII, nas ilhas de Cabo Verde e na Guiné e mais tarde foi disseminada pelo continente africano (LAMSTER, 1984 apud EPAMIG, 2003). Desenvolve-se bem nas regiões tropicais secas como nas zonas equatoriais úmidas, assim como nos terrenos áridos e pedregosos, podendo sem perigo, suportar longos períodos de secas. É adaptado a condições semi-áridas; no entanto, tem-se observado melhores resultados da cultura quando implantada em condições úmidas (ACHTEN et al. 2008).

Encontra-se desde a orla marítima até os 1.000 m de altitude, sendo seu cultivo mais indicado em regiões que apresentam entre 500 e 800 m de altitude (CORTESÃO, 1956 e PEIXOTO, 1973).

Segundo Heller (1996), a planta está predominantemente presente em regiões onde a precipitação média anual é de 300 a 1.000 mm; no entanto, Foidl et al. (1996), relatam que a cultura do pinhão manso pode ser encontrada em condições de precipitação média anual variando de 250 a 3.000 mm.

2.2 Características morfológicas e propriedades da planta

O pinhão manso ainda é uma cultura muito pouco explorada no Brasil; porém, segundo Carnielli (2003) é uma planta oleaginosa viável para obtenção de biodiesel, pois produz duas toneladas (no mínimo) de óleo por hectare, podendo esse valor chegar a 3,5 toneladas segundo Heiffig (2006), sem irrigação. Para condições de cultivo melhores, incluindo boas práticas de manejo, boa fertilidade do solo e boa disponibilidade hídrica (entre 900 e 1200 mm ano⁻¹), acredita-se que a produtividade pode atingir seguramente 5 ton ha⁻¹ ano⁻¹ (TEWARI, 2007).

A planta de pinhão manso é uma árvore pequena ou arbusto de grande porte que pode atingir uma altura de até 6 m. Os ramos contêm látex. Normalmente, cinco raízes são formadas a partir de sementes, sendo uma central (raiz pivotante) e quatro

periféricas. Quando são plantadas pelo método da estaquia, não formam raiz principal. A vida útil da planta *Jatropha curcas* pode chegar a mais de 50 anos (HENNING, 2009).

O pinhão manso apresenta crescimento rápido, cuja altura normal é de dois a três metros, mas pode alcançar até cinco metros em condições especiais. O diâmetro do tronco é de aproximadamente 20 cm; possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule liso, de lenho mole e medula desenvolvida, mas pouco resistente; floema com longos canais que se estendem até as raízes, nos quais circula o látex, suco leitoso que corre com abundância de qualquer ferimento. O tronco ou fuste é dividido desde a base, em compridos ramos, com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas (SATURNINO et al., 2005).

Jatropha curcas L. é uma espécie resistente à seca, que é amplamente cultivada nos trópicos como cerca viva. As sementes são tóxicas para os seres humanos e muitos animais; porém, no México, no estado de Veracruz, uma variedade não-tóxica de pinhão manso é conhecida. Análises da Universidade de Hohenheim, na Alemanha, mostraram que estão livres de ésteres de forbol (HENNING, 2009).

2.3 Expectativas para o pinhão manso

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa nº 4, de 14 de janeiro de 2008, autorizou a inscrição, no Registro Nacional de Cultivares, da espécie *Jatropha curcas* L. (pinhão manso), abrindo caminho para a sua exploração comercial no Brasil (ROSCOE, 2008).

Com a iniciativa do Programa Brasileiro de Biodiesel, o pinhão manso foi incluído como uma alternativa de matéria-prima, baseando-se na expectativa de que a planta possua alta produtividade de óleo, tenha baixo custo de produção, seja perene, e resistente ao estresse hídrico; porém, a pesquisa da cultura do pinhão manso está apenas iniciando no Brasil (SATURNINO et al., 2005).

Na Índia, pesquisas iniciais estão sendo coordenadas pelo National Oilseeds and Vegetable Oil Development Board (NOVOD Board) em 21 Estados, consistindo na

seleção de plantas mais produtivas, multiplicação das sementes e melhorias no sistema de produção.

O Indian Council of Agricultural Research (ICAR) selecionou a primeira variedade de *Jatropha*, a SDAUJ I (Chatrapati) com maior teor de óleo e produção para o cultivo comercial. As sementes contêm 49,2% de óleo. Os agricultores podem obter um rendimento médio de 1.000 a 1.100 kg de sementes por hectare em condições de sequeiro. É recomendado para regiões áridas e semi-áridas de Gujarat e Rajasthan. É resistente à seca e pode ser implantado com sucesso em áreas onde a precipitação anual é de 300 a 500 mm. A planta alcança uma altura de aproximadamente 2,7 m e mostra-se resistente a todas as pragas mais importantes (ICAR, 2006).

A Sardarkrushinagar Dantiwada University, no estado de Gujarat, vem desenvolvendo pesquisa nos últimos três anos, mas ainda sem resultados conclusivos (SEVERINO et al, 2007).

Os plantios comerciais de pinhão manso no Brasil ainda estão em fase inicial de implantação, com idade menor ou igual a 4 anos, não se conhecendo a real perspectiva de produção adensada em prazos superiores a esse. Apesar da carência de informações técnicas básicas, a cultura vem sendo difundida e implantada em diversas regiões do Brasil.

2.4 Produção de mudas em tubetes

O sucesso na implantação de uma lavoura depende da observação de vários fatores, dentre os quais a escolha de mudas com elevado potencial genético, sadias, bem desenvolvidas e aclimatadas. Para se obter mudas nessas condições é imprescindível a observação dos cuidados necessários à produção no viveiro, pois somente dessa forma será possível a formação de lavouras uniformes, com boa produção inicial e rendimento por área.

No Brasil a produção de mudas é realizada principalmente pelo sistema que utiliza sacos de polietileno como recipiente para o substrato onde se desenvolve a muda. Apesar de esse sistema ser largamente utilizado, ele apresenta alguns inconvenientes como, maior necessidade de espaço tanto na produção quanto no

transporte das mudas, menor rendimento no plantio e necessidade de maior volume de substrato. Esse sistema está sendo paulatinamente substituído pelo sistema de produção em tubetes.

Faria (1999) relata que os tubetes surgiram durante a década de 70, com o aumento do interesse em diversas espécies de eucalipto nos Estados Unidos, o que fez com que os técnicos desenvolvessem novos recipientes para a produção de mudas. Foram elaborados vários modelos de recipientes em forma de tubos plásticos, levemente cônicos e de várias dimensões. No Brasil esses recipientes só começaram a ser utilizados na década de 80, como descrito por Simões (1987). O autor relata que na época houve a substituição do saquinho plástico pelo tubete na formação de mudas de empresas florestais brasileiras. Segundo Andrade Neto (1998), na década seguinte, o mesmo ocorreu na produção de mudas de olerícolas, frutíferas (citrus e maracujá) e mais tarde de cafeeiros e demais culturas.

Existem no mercado diferentes recipientes para a formação de mudas de espécies frutíferas, florestais e de outras culturas de importância econômica, sendo o critério de escolha definido em função da disponibilidade e do custo de obtenção (MENDONÇA et al., 2003).

Algumas vantagens técnicas do sistema de tubetes para a formação de mudas de essências florestais são citadas por Simões (1987), entre as quais destacam-se: formação do sistema radicular sem enovelamento, crescimento inicial das mudas mais rápido (logo após o plantio), facilidades operacionais como: maior rendimento no transporte das mudas (5 a 6 vezes) e maior rendimento no plantio (2 a 2,5 vezes) quando comparado com o sistema de sacos plásticos.

Embrapa (2007), estudando a influência do volume do recipiente nas variáveis diâmetro caulinar, área foliar, número de folhas, matéria seca da parte aérea e das raízes de mudas de pinhão manso apresentou que o maior recipiente propiciou maior crescimento das mudas em todas as características estudadas, exceto o diâmetro caulinar.

Avelar et al. (2006) avaliando tubetes de 50 e 120 cm³ e o substrato comercial Plantimax® recomendam o uso de tubetes com capacidade para 120 cm³ para a produção de mudas de pinhão manso.

Outro estudo comparando a produção de mudas de pinhão manso em sacos plásticos e tubetes foi desenvolvido por Paulino (2009); nesse estudo as maiores taxas de crescimento e as mudas com melhor qualidade final foram produzidas em tubetes de 290 cm³, substrato comercial a base de casca de pinus e sulfa, e adubo de liberação lenta.

2.5 Produção de mudas em estufa

A produção de mudas protegidas em ambientes cobertos com filmes plásticos é prática comum em regiões onde os cultivos são extensos. A produção de grande quantidade de mudas, de forma comercial, já é prática realizada há bastante tempo, principalmente para mudas de florestas, onde a quantidade necessária para reflorestamentos é grande. Mesmo neste sistema, que começou de maneira simples, se utilizam as técnicas mais modernas, visando dar qualidade às mudas (EMBRAPA, 2008).

O cultivo em ambiente protegido é uma técnica que permite minimizar os efeitos da sazonalidade climática nas culturas e possibilitar o controle da temperatura, umidade relativa do ar, dos teores de oxigênio, dos teores de gás carbônico e os níveis de fertilizantes e a quantidade de água de irrigação aplicada. Por ser uma técnica com alto custo inicial de implantação, atualmente o cultivo protegido no Brasil é utilizado somente para culturas de elevado retorno por área de cultivo (SILVA, 2010).

A obtenção de mudas de qualidade, produzidas em estufas ou viveiros, específicos para esta atividade, não se baseia somente no ambiente, mas juntamente com esta técnica, outras são fundamentais como: uso de recipientes para o substrato, adequados a espécie a ser produzida; mesas suporte para vasos e bandejas; substrato, formulado a partir de diversos materiais e adequado para cada espécie e necessidade; irrigação, prática fundamental na produção de mudas, visto que os recipientes que acomodam o substrato não permitem o movimento lateral de água entre as plantas o

que torna a distribuição da água fator primordial para o sucesso da produção; e controle de patógenos (EMBRAPA, 2008).

A tecnificação da produção de mudas de plantas é uma prática em franca expansão a qual vem mostrando sua importância na evolução da produção brasileira e o uso de estufas equipadas é um indicador de que o meio produtor está se especializando e evoluindo para uma agricultura melhor, mais econômica e ambientalmente mais adequada (EMBRAPA, 2008).

2.6 Lisimetria e evapotranspiração

A avaliação do consumo de água de uma cultura é de fundamental importância do ponto de vista agrícola, podendo ser determinada com a utilização de lisímetros (SILVA et al. 2003).

Vários autores (HOWELL et al., 1991; SILVA et al., 1999; CAMPECHE, 2002) reportam o uso de lisímetros de pesagem como ferramenta padrão em estudos de consumo de água das culturas, seja na determinação da evapotranspiração, como também na calibração de modelos agrometeorológicos de estimativa. Diversas pesquisas ao redor do mundo, como por exemplo, as realizadas por Jensen, Burman e Allen (1990), comparam os valores obtidos pelos modelos de estimativa da evapotranspiração da cultura, com dados lisimétricos. Este fato mostra que a lisimetria é considerada uma boa técnica para se determinar a variação de umidade em um solo ou substrato.

Lisímetros de pesagem consistem em tanques preenchidos com solo, assemelhando-se ao encontrado nas condições naturais, no qual é cultivada a cultura de interesse e a evapotranspiração é obtida a partir da variação de massa do lisímetro em um intervalo de tempo conhecido. Dentre todos os métodos de medição de evapotranspiração, o uso de lisímetros de pesagem se destaca como o mais prático, preciso e sensível (ABOUKHALED et al., 1982; HOWELL et al., 1985).

Aboukhaled, Alfaro e Smith (1982) classificaram os lisímetros quanto à forma de obtenção dos dados em lisímetros de pesagem e lisímetros de não pesagem, atribuindo maior precisão aos primeiros. Quanto aos de pesagem, esses foram classificados em

quatro tipos: sistema mecânico, mecânico com célula de carga eletrônica, célula de carga eletrônica e célula de carga hidráulica.

Arantes (2007), trabalhando com bancadas lisimétricas semelhantes às deste trabalho, relata que esta técnica apresentou-se viável para o manejo da irrigação na produção de mudas em tubetes.

2.7 Automação da irrigação

Devido ao potencial em aumentar as eficiências do uso da água e energia, possibilidade de controlar a aplicação de produtos químicos, redução da mão-de-obra, e principalmente devido a necessidade de incrementar a produção agrícola, cresce o interesse do produtor na automatização da operação e consequentemente do manejo de irrigação. Sistemas automáticos de controle de irrigação se tornaram uma ferramenta essencial para a aplicação de água na quantidade necessária e no devido tempo, contribuindo para a manutenção da produção agrícola e também para a utilização eficiente dos recursos hídricos (GUIRRA, 2010).

A necessidade da otimização dos recursos produtivos, da competitividade no mercado produtivo, da necessidade de aumento de produtividade e redução de custos, levam a uma tendência de adoção de tecnologias capazes de tornar a exploração cada vez mais competitiva e rentável.

Os sistemas de controle de irrigação têm sofrido constante evolução, desde a forma de temporizadores mecânicos ou eletro-mecânicos, até, atualmente, sistemas baseados em computadores capazes de manter um controle preciso da disponibilidade de água, energia e produtos químicos (ZAZUETA et al., 1992a e ZAZUETA; SMAJSTRLA, 1992).

Os sistemas de irrigação utilizados em estufa geralmente visam manter um pequeno volume de solo ou substrato através de aplicações de água relativamente pequenas e frequentes. Uma interrupção do abastecimento de água ou excesso de irrigação pode, facilmente, resultar em redução das margens de lucro. Phene et al. (1988) recomendam que, sob manejo de irrigação de alta frequência, água de irrigação deve ser aplicada a uma taxa quase equivalente à taxa de evapotranspiração. Assim,

para a irrigação em estufa, técnicas convencionais de irrigação não são adequadas ao tempo nem a necessidade.

Em estufas, a implementação de sistemas de irrigação automatizados, que executam em tempo real as estratégias de manejo de irrigação, tem potencial para melhorar a eficiência de uso da água, da energia e de químicos. Exemplos de aplicação de irrigação em sistemas de controle de produção agrícola podem ser encontrados em vasta literatura (PHENE et al., 1988; JACOBSON et al., 1989; ZAZUETA e SMAJSTRLA, 1992; WESSELS et al., 1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Estrutura experimental

O experimento foi conduzido na Área Experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ – USP), no município de Piracicaba-SP, nas coordenadas geográficas: 22° 42’ 40” de latitude Sul; 47° 37’ 45” de longitude Oeste e aproximadamente 547 metros de altitude.

Piracicaba possui clima do tipo Cwa no sistema Koppen, denominado subtropical úmido, e caracterizado por estiagem no inverno, temperatura média no mês mais frio de 18°C e 22°C no mês mais quente. A temperatura média anual é de 21,4°C e total de chuva de 1.257 mm (SENTELHAS e PEREIRA, 2000).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com estrutura metálica galvanizada, medindo 4,6 m de altura na parte central e 3,0 m de pé direito, 12,8 m de largura, 22,5 m de comprimento, possuindo janelas frontais. A cobertura consistia de filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEbd), continha aditivo anti-ultravioleta, e espessura de 0,15 mm. As laterais eram fechadas com tela plástica tipo sombrite 50%. A estrutura era provida de energia elétrica e água potável (Figura 1A).

Para o monitoramento meteorológico da estrutura foram instalados, no centro do experimento, sensores de radiação global modelo CM3 Kipp & Zonen®, temperatura e umidade relativa do ar - termohigrômetro modelo HMP45C da Vaisala®, com os dados coletados a cada minuto e média a cada dez minutos (Figura 1B).

Para coleta de dados, foi utilizado um sistema automático de coleta e armazenamento (CR23X, Campbell Scientific®) juntamente com um multiplexador de canais diferenciais modelo AM 16/32, Campbell Scientific®.

Figura 1 - Estrutura experimental. Estufa onde o experimento foi desenvolvido (A) e disposição dos sensores para aquisição dos dados meteorológicos (B)

3.2 Bancadas lisimétricas

Na determinação do consumo hídrico das mudas, foram utilizadas quatro bancadas metálicas desenvolvidas especialmente para esta finalidade. Essas bancadas eram providas de três células de carga, cada uma, da marca Alfa instrumentos[®], modelo GL 10, com capacidade máxima de carga de 10 kg. As células de carga estavam acopladas ao sistema de aquisição de dados, o qual fez o monitoramento constante (24 h) da variação de massa do sistema.

As estruturas utilizadas como base (bancadas), apresentavam as seguintes dimensões: altura de 1,20 m, largura de 0,55 m e comprimento de 1,0 m. Elas possuíam ainda, um sistema de nivelamento através de parafusos reguladores, instalados nos pés, que permitiam uma variação de $\pm 0,05$ m na altura da estrutura, possibilitando assim uma perfeita posição de funcionamento das células de carga. Para suportar os tubetes com as mudas sobre as células de carga, foi construída uma grade, constituída de um quadro feito com cantoneiras metálicas de dimensões 0,80 m x 0,35 m, na qual foi parafusada uma tela, também metálica, de malha 0,05 m x 0,05 m. A posição de instalação das células de carga na estrutura base do lisímetro foi no formato triangular. Desta maneira, pôde-se garantir que o peso total (tela metálica, tubetes, mudas, substrato e água), estava distribuído somente entre as três células de carga.

Na Figura 2 pode ser vista a bancada lisimétrica e os detalhes da instalação da grade e tubos de drenagem utilizados.

Figura 2 - Bancada lisimétrica (A), grade de sustentação dos tubetes (B), detalhe do dreno superior (C), detalhe do tubo de abastecimento de água (D), parafuso regulador de nível (E) e célula de carga (F)

Compondo o sistema de subirrigação, situados abaixo da tela que suportava os tubetes, foram instalados tanques metálicos, confeccionados de chapa galvanizada de 0,5 mm de espessura e volume igual a 56 L (dimensões 0,80 m x 0,35 m x 0,20 m). Foi instalado, próximo a borda dos tanques, um tubo de 32 mm de diâmetro para drenagem do excesso de água e que garantiu o não transbordamento. Para cada parcela, uma bandeja foi instalada, simplificando assim o controle dos níveis de irrigação. Toda a água que circulava nas bandejas metálicas era coletada tanto pelos drenos superiores

quanto pelos drenos inferiores (nestes, ao final da irrigações) era conduzida por tubulações de PVC de 100 mm para as caixas de armazenamento conforme Figura 3.

Figura 3 - Tubulação de PVC que conduzia a água drenada (A), caixas de armazenamento (B)

3.3 Células de carga das bancadas lisimétricas

Quando se trabalha com esse tipo de instrumento de medição, há que se fazer algumas considerações: devido ao erro combinado da célula de carga (0,03%) e a sua capacidade nominal (10.000 g), o erro de leitura esperado de cada célula é igual a 3 g. Porém, foram utilizadas três células para cada bancada e assim, o erro de leitura esperado da massa total do lisímetro ficou em torno de 5,2 g (ANEXO A). Porém, o erro calculado ocorre quando se trabalha usando toda a faixa de medição da célula de carga (de 0 a 10.000 g). Neste caso foi usada apenas uma faixa de medição das 3 células de carga (entre 5 e 9 kg aproximadamente). Assim, após os procedimentos de calibração com massas padronizadas, os erros de leitura foram reduzidos significativamente.

Para a coleta e armazenamento dos dados foi instalado um datalogger da marca Campbell Scientific®, modelo CR23X. Esse datalogger apresenta menor valor de leitura igual a 0,00033 mV.

As células de carga utilizadas nos lisímetros apresentam como sinal de saída uma tensão variável em função do peso aplicado sobre elas e da tensão de alimentação. A faixa de variação da tensão na saída das células de carga é de 2,0 mV

para cada volt aplicado na sua alimentação, sendo esta feita com 5 V. Desta maneira, quando a célula de carga estivesse suportando sua carga máxima (10 kg), o sinal de saída da mesma seria de 10,0 mV e conseqüentemente, a faixa de leitura do datalogger seria de 10 mV nessa condição. Desta forma, se as células de carga têm capacidade nominal de 10.000 g para trabalhar com 10 mV, isso indica que cada mV no datalogger corresponde a 1.000 g de variação na célula de carga. Sabendo-se que a resolução do datalogger é de 0,00033 mV, isso corresponde a 0,33 g na célula de carga. No entanto, foram utilizadas três células de carga em cada lisímetro, e, desta forma, esse valor foi multiplicado pelo número de células obtendo 0,99 g de resolução na massa total do lisímetro. Este é um valor considerado adequado para a finalidade do experimento.

3.4 Características físico-químicas do substrato e da água

Para produção das mudas foi utilizado um substrato orgânico comercial, denominado Basaplant[®]. Este substrato é um composto estabilizado, que possui em sua mistura, cascas processadas de pinus, fibra de coco, turfa fibrosa e vermiculita. Esse composto apresenta, segundo o fabricante, umidade máxima de 50 %, (base peso), capacidade de retenção de água em torno de 150 %, densidade de 500 kg m⁻³ e pH de 5,8. Resultados de análises laboratoriais constataram condutividade elétrica de 0,73 mS cm⁻¹ e capacidade de troca catiônica de 310 mmol_c kg⁻¹. A análise química completa pode ser vista no **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Este substrato tem características similares ao substrato utilizado com sucesso por Paulino et al. (2011), na produção de mudas de pinhão manso em tubetes.

A água utilizada no experimento provinha da rede tratada de abastecimento da ESALQ e era armazenada em 2 caixas de capacidade para 500 L cada uma. Como o sistema era fechado, ou seja, a água retornava para os tanques após o uso, notou-se mudança na coloração da água após os primeiros dias de uso, optando-se por fazer análise complementar da água. Os dados das análises antes e após o uso podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química da água antes e após ser utilizada no experimento

Determinações	Unidades	Amostra da água	
		Antes do uso	Após o uso
Cloreto (Cl^-)	mg L^{-1}	26,1	63,4
Nitrato (N-NO_3)	mg L^{-1}	5,1	38,6
Sulfato (SO_4^{2-})	mg L^{-1}	43,9	130,9
Fósforo (P)	mg L^{-1}	0,003	0,7
Nitrogênio Amoniacal (N - NH_3)	mg L^{-1}	0,1	0,11
Sódio (Na^+)	mg L^{-1}	30,5	55,0
Potássio (K^+)	mg L^{-1}	3,0	16,4
Cálcio (Ca^{2+})	mg L^{-1}	24,6	40,0
Magnésio (Mg^{2+})	mg L^{-1}	2,0	10,8
Ferro (Fe)	mg L^{-1}	0,025	0,07
Cobre (Cu)	mg L^{-1}	0,007	0,02
Manganês (Mn)	mg L^{-1}	0,012	0,1
Zinco (Zn)	mg L^{-1}	0,033	1,5
Dureza Total* (CaCO_3)	mg L^{-1}	69,9	146,9
Acidez (CaCO_3)	mg L^{-1}	7,4	6,7
Alcalinidade Total ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	mg L^{-1}	11,6	17,2
Gás Carbônico (CO_2)	mg L^{-1}	2,5	2,3
pH	-	6,9	7,1

*Dureza Total calculado com base no equivalente de Carbonato de cálcio (CaCO_3) segundo Frason (1995): $2,497 [\text{Ca}, \text{mg L}^{-1}] + 4,118 [\text{Mg}, \text{mg L}^{-1}] + 1,792 [\text{Fe}, \text{mg L}^{-1}] + 1,822 [\text{Mn}, \text{mg L}^{-1}] + 1,531 [\text{Zn}, \text{mg L}^{-1}]$.

Pode-se notar que as concentrações de todos os itens analisados sofreram alterações positivas em suas concentrações, exceto a acidez e gás carbônico que foram reduzidos. Isso indica que parte dos nutrientes presentes no Osmocote® e no substrato foram solubilizados e carregados junto com a água drenada das bancadas. Porém isso não seria preocupante já que a água e consequentemente os nutrientes voltavam a circular pelas bancadas, ficando novamente disponíveis às mudas.

3.5 Análises e escolha das sementes

Para garantir o stand de mudas, a uniformidade de germinação e a emergência das plantas, foram realizados no Laboratório de Sementes do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, análises de viabilidade pelos testes de tetrazólio e de

germinação de sementes, em câmara tipo BOD, com controle de umidade, fotoperíodo e temperatura, conforme normas descritas em Brasil (2009).

Para o teste foram utilizados 5 lotes de sementes de pinhão manso, três deles colhidos na safra de 2010 provenientes:

- ✓ Lote 1: de produtor rural no estado de Minas Gerais;
- ✓ Lote 2: da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG;
- ✓ Lote 3: de produtor rural no estado de São Paulo;
- ✓ Lote 4: do Instituto Federal de Rio Verde-GO, colhidas no mês de maio de 2011 e;
- ✓ Lote 5: do Instituto Agrônômico de Campinas, colhido na cidade de Adamantina-SP no mês de dezembro de 2009 e armazenadas a 5° C em câmara fria. São sementes de plantas selecionadas para produtividade pelo produtor rural em parceria com o IAC.

Após a recepção das sementes, os lotes foram encaminhados para o Laboratório de Sementes do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ para testes de viabilidade, conforme Brasil (1992). Os testes foram iniciados no dia 10/06/2011 e finalizados no dia 21/06/2011.

O teste de tetrazólio é um teste bioquímico que pode ser usado quando as sementes necessitam ser semeadas logo após a colheita; quando apresentam dormência ou para resolver problemas encontrados no teste de germinação, como por exemplo, presença de um grande número de plântulas anormais.

Também pode ser usado para avaliar o vigor, determinar a viabilidade das sementes após tratamentos pré-germinativos, danos por secagem, por insetos e por umidade, bem como para detectar danos mecânicos de colheita e/ou beneficiamento (BRASIL, 2009).

O objetivo principal do teste de tetrazólio é distinguir as sementes viáveis das não viáveis. Uma avaliação cuidadosa, baseada nos padrões de coloração e de sanidade dos tecidos, torna possível separar diferentes categorias de sementes dentro desses dois grupos.

Para a avaliação da viabilidade pelo teste de tetrazólio, foram feitas quatro repetições e utilizadas 25 sementes por repetição, conforme Brasil (1992). As sementes

foram submetidas à embebição entre papel toalha (EP) umedecidos com quantidade de água equivalente a três vezes a massa seca do papel toalha, em germinador a 25°C até que as sementes atingissem 30% de água. Posteriormente, foi retirado todo o tegumento das sementes para a penetração da solução de tetrazólio no embrião. A remoção foi realizada pressionando as sementes com os dedos de forma a causar ruptura ao tegumento, porém, sem que houvesse danificações no endosperma.

Após o pré-condicionamento, as sementes foram imersas em solução de 2,3,5 trifênil cloreto de tetrazólio na concentração de 0,5% durante 120 minutos conforme descrito em Pinto et al., (2009), a 40°C, no escuro. Em seguida, as sementes foram seccionadas longitudinalmente e as duas metades foram examinadas. De acordo com a extensão e a intensidade da coloração, a presença de áreas brancas leitosas e a localização dessas áreas em relação às áreas vitais das sementes, os embriões foram individualmente classificados em duas categorias: viáveis e não viáveis, de acordo com os critérios desenvolvidos por Moore, (1972).

Simultaneamente, foi realizado o teste de germinação em papel germitest utilizando água destilada referente a 2,5 vezes o peso do substrato (Brasil, 1992), a 30° C em BOD. Foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes para cada lote, foram testadas sementes desinfetadas com solução de hipoclorito a 2% e sementes não desinfetadas. As sementes e as plântulas foram avaliadas de acordo com Brasil (1992), considerando-se como plântula normal as que apresentavam as partes essenciais do embrião desenvolvidas. A contagem final foi realizada após a estabilização da germinação, aos 10 dias após a semeadura. Os resultados das análises podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Porcentagens de sementes viáveis de pinhão manso obtidas pelos testes de tetrazólio - sementes hidratadas entre papel e com 30% de água na concentração de tetrazólio de 0,5%; resultados do teste de germinação

Semetes	*Massa média de sementes (g)	Tetrazólio – sementes viáveis (%)	**Germinação (%)	
			Desinfetada	Não desinfetada
Lote 1	0,70	42	26	29
Lote 2	0,60	49	48	36
Lote 3	0,55	29	2	2
Lote 4	0,63	76	65	67
Lote 5	0,68	82	70	71

*Medidos com 4 repetições de cem sementes cada uma. **em BOD a 30° C.

Como a finalidade dos testes foi identificar dentre os lotes disponíveis o que apresentasse maior percentagem de sementes viáveis, não foi feita comparação estatística para os mesmos. Visto o resultado dos testes, foi escolhido o Lote 5 proveniente do IAC para a implantação do experimento.

Para uniformizar o tempo de germinação e a emergência das plantas, optou-se por fazer uma pré-germinação em BOD a 30° C com as sementes do Lote 5, proveniente do IAC, por um período de 48 horas até que as sementes apresentassem uma radícula de aproximadamente 0,5 cm como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Pré-germinação de sementes de pinhão manso em BOD (A) com papel germitest (B), semente sadia germinada (C), semeadura nos tubetes (D) e tubetes prontos para compor a bancada do experimento (E)

Foram acondicionadas 2.500 sementes em papel germitest (Figura 4 B) e após o período de 48 h as sementes foram levadas à estufa para a seleção daquelas que apresentavam uniformidade quanto ao tamanho da radícula. Os 1.408 tubetes que compunham o experimento mais 480 tubetes reserva, foram semeados com sementes pré-germinadas a 3 cm de profundidade (Figura 4D) e cobertas com substrato (Figura 4E).

3.6 Semeadura e irrigação

Foi adicionado fertilizante de liberação lenta ao substrato na proporção de 5 g por litro conforme orientação do fabricante e homogeneizado em caixa plástica de 500 L conforme mostrado na Figura 5A. Após isso, os tubetes foram preenchidos manualmente com o substrato (Figura 5B), tomando-se o cuidado de não compactá-lo com as mãos diretamente, apenas acomodando o substrato com pequenas batidas no tubete. Antes da semeadura foi realizada a primeira irrigação deixando-os saturados. Assim, a semeadura foi realizada no dia 23 de junho de 2011.

Figura 5 - Caixa onde foi homogeneizado o substrato (A) e preenchimento manual dos tubetes (B)

Foi feita uma calibração da massa de 128 tubetes na “capacidade de recipiente”, ou seja, o equivalente à capacidade de campo em recipientes. Para isso, com os tubetes sobre as bancadas lisimétricas (32 tubetes em cada bancada), os mesmos foram irrigados e após dez minutos, quando a drenagem natural cessou, foi contabilizado em média 7,51 kg por lisímetro, o equivalente a 0,234 g por tubete.

Diariamente foi monitorada a quantidade de água que saiu do sistema por evaporação da superfície do recipiente e até a emergência das mudas as irrigações eram feitas diariamente mantendo-se o substrato próximo a MCRA.

Após uma semana monitorando os valores de massa dos lisímetros, após a estabilização da massa do substrato quando o mesmo estivesse na MCRA, foi feita

uma nova calibração, mantendo este valor como sendo referência para os tratamentos. Esse valor foi alterado semanalmente para cada bancada lisimétrica, visando corrigir erros inerentes ao aumento de massa devido ao crescimento das plantas e à variação da capacidade de retenção de água do substrato.

3.7 Manejo automatizado da irrigação

Para monitorar a perda de água das mudas devido à evapotranspiração, foram utilizadas bancadas lisimétricas com células de carga eletrônicas. Desta maneira, a variação da quantidade de água nos tubetes foi relacionada com a variação da tensão de saída das células de carga utilizadas.

A irrigação foi realizada pelo método de subirrigação, sendo utilizadas para isso bandejas metálicas, fixadas às bancadas. A reposição de água no substrato foi realizada de forma automatizada, com reposição de água ao tratamento assim que o datalogger detectava que o substrato atingiu a depleção desejada. Desta forma, após as irrigações, a quantidade de água contida no substrato era igual à máxima que este conseguia reter sob livre drenagem. A partir de então era contabilizada a quantidade de água perdida pelo substrato, devido ao processo de evapotranspiração. Quando esta variação atingia o nível de depleção da MCRA determinado como tratamento, era realizada uma nova irrigação, elevando-se novamente a quantidade de água no tubete ao nível máximo (100% da MCRA).

O sistema contava com uma bomba de abastecimento, quatro válvulas solenóides elétricas e doze bombas para a drenagem da água (Figura 6A e B) após os substratos terem sido saturados. Todos os cinco tanques de cada tratamento foram nivelados e interligados entre si por meio do sistema de drenagem.

Figura 6 - Motobomba de abastecimento, válvulas solenóides (A), bombas de drenagem (B)

À medida que as mudas evapotranspiravam, a massa do sistema diminuía, quando esta massa atingia o valor pré-calibrado correspondente ao nível de depleção, o datalogger detectava e acionava a bomba de enchimento dos tanques, juntamente com a válvula solenóide correspondente ao referido tratamento, permitindo assim o enchimento somente dos cinco tanques do tratamento em questão. Assim, os tanques eram abastecidos até a máxima altura, o que permitia a absorção de água por todo o substrato (Figura 7A e B), permanecia cheio por um período de 5 minutos para elevar a umidade à MCRA e logo após esse período, o datalogger ligava a bomba de drenagem correspondente a este tratamento esvaziando-os.

Figura 7 - Tanque abastecido (A) e saturação do substrato (B)

3.8 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em parcelas aleatorizadas com quatro repetições, além da bancada lisimétrica que foi o controle. Os tratamentos avaliados foram constituídos de quatro níveis de depleção da máxima capacidade de retenção de água (MCRA) apresentada pelo substrato Basaplan® utilizado na produção das mudas. Os níveis de depleção foram de 20% (T1), 40% (T2), 60% (T3) e 80% (T4) da MCRA. Arantes (2007), trabalhando com mudas de café em tubetes relatou que as plantas não suportaram a condição de déficit hídrico acima de 60% da MCRA a qual foram expostas e morreram logo no primeiro período avaliado; no entanto, em testes preliminares com os mesmos valores de Arantes (2007), percebeu-se que as mudas de pinhão manso tinham maior resistência ao déficit. Sendo assim, portanto, os níveis foram aumentados e estabelecidos os valores supracitados para os tratamentos avaliados nesta pesquisa.

Cada parcela experimental foi representada por um conjunto de 80 tubetes nas bancadas comuns e 32 tubetes, nas bancadas lisimétrica, consideradas controle. Desta maneira, o experimento foi constituído de vinte (20) parcelas, totalizando 1.408 plantas.

Os recipientes utilizados foram os tubetes de 290 cm³ (medindo 52 mm de diâmetro interno na borda superior e 190 mm de altura), o substrato utilizado foi o substrato comercial Basaplan[®] e o fertilizante utilizado foi o Osmocote[®] 14-14-14, com a dose recomendada pelo fabricante de 5 g por litro de substrato.

Os mesmos foram escolhidos com base nos resultados obtidos por Paulino et al. (2011), por apresentarem as melhores características dentre os avaliados em experimento na produção de mudas de pinhão manso.

3.9 Parâmetros de qualidade avaliados

No total foram semeadas 352 sementes por tratamento, num total de 1.408 tubetes, mais 480 tubetes numa bancada extra, para garantir a quantidade de mudas necessárias ao andamento da pesquisa e que serviram de reposição para as mudas retiradas para as análises destrutivas.

Para se quantificar os efeitos dos tratamentos aplicados, foram avaliadas semanalmente as seguintes características de qualidade das mudas:

- ✓ Altura das plantas (ALT) nas plantas colhidas semanalmente, sendo que no caso dos lisímetros foram medidas sempre as mesmas plantas. A altura foi considerada como a distância entre o nível do substrato até o meristema apical, e foi medida com o auxílio de uma régua graduada.
- ✓ Diâmetro do coleto ou caule (Diâm): Medido a 1 cm do nível do substrato com paquímetro digital da marca Starrett[®], Série 799.
- ✓ Área foliar (AF), por meio de um scanner laser portátil de alta resolução Modelo CI 203 da Bio Science[®].
- ✓ Comprimento do sistema radicular (CRaiz): Foi padronizada a medida da distância do início do sistema radicular até o máximo comprimento da raiz.
- ✓ Massa de matéria verde da parte aérea (MVA) e matéria fresca de raiz (MFR) conforme descrito em Paulino (2009) com balança de 0,01 g de precisão.

✓ Massa de matéria seca da parte aérea (MSA) e da raiz (MSRaiz), conforme descrito em Paulino (2009) em balança analítica com 0,0001 g de precisão, após terem sido secas em estufa de ventilação forçada a 65° C até massa constante. Nesse caso não foram coletadas mudas das bancadas lisimétricas.

Para tanto, foram coletadas dezesseis plantas de cada tratamento, totalizando 64 plantas avaliadas semanalmente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos a partir do experimento com as mudas de pinhão manso foram subdivididos em duas análises. A primeira teve como objetivo relatar o comportamento do sistema automático de irrigação utilizado no experimento, durante a instalação e calibrações do mesmo. A segunda análise referiu-se aos resultados das características de desenvolvimento das mudas frente aos diferentes níveis de depleção da máxima capacidade de retenção de água (MCRA) do substrato, objetivando-se com isso encontrar o manejo mais adequado da subirrigação, para a produção de mudas de pinhão manso em tubetes.

4.1 Calibração das bancadas lisimétricas

Após o desenvolvimento e a instalação de toda a parte eletrônica do sistema, foi feita uma calibração dos lisímetros com 12 pesos padrões numerados variando de 0,3 a 0,4 kg aproximadamente, confeccionados com sacos plásticos preenchidos com brita de construção. Resumidamente, o processo da calibração foi realizado à noite (18:00 - 21:00 h) horário em que os ventos são mais calmos e as temperaturas são menores, minimizando oscilações nas leituras das massas padrões. Inicialmente, foi registrado os sinal médio do sistema, em mV V^{-1} , sem adição de pesos, teoricamente descarregado. Em intervalos de dois minutos foram adicionados os pesos em ordem crescente de numeração. O primeiro minuto da medida foi descartado para análise, já que inclui as oscilações provocadas pelo acréscimo e decréscimo do peso.

Em função do fenômeno de histerese, a calibração também foi realizada no sentido de decréscimo dos valores de peso. Foram realizadas, para determinação da equação de calibração dos lisímetros, um total de 12 leituras em ambos os sentidos (acrécimo e decréscimo de peso). Os valores obtidos durante o processo de calibração das células de carga foram ajustados por análise de regressão, gerando uma equação que descreve o comportamento do sinal dos lisímetros em função da variação de peso sobre as células de carga. Esta equação foi então incorporada à rotina do datalogger,

para conversão dos sinais em valores de peso. As equações obtidas, bem como os seus respectivos coeficientes de determinação, são apresentadas na Figura 8.

Os lisímetros 1, 2, 3 e 4 correspondem aos níveis de depleção de 20%, 40%, 60% e 80% respectivamente.

Figura 8 - Regressão verificada com a adição e subtração dos pesos, massa (g) e a soma do sinal (mV), registrada pelo datalogger para os quatro lisímetros

Verifica-se uma excelente linearidade e baixa histerese para os quatro lisímetros. Os valores indicam um melhor ajuste para o lisímetro 4. Parte das variações nos ajustes pode ser atribuída a diferenças construtivas na estrutura metálica dos lisímetros que podem resultar em maior ou menor torção nas partes ou mesmo

pequenos deslocamentos nos centros de apoio, o que gera oscilações maiores nas leituras.

4.2 Sistema eletrônico auxiliar da irrigação

Para auxiliar na automação da irrigação e da drenagem do experimento, foi projetada e construída no Laboratório de Instrumentação Eletrônica da ESALQ uma Interface de Acionamento Óptico Isolado (Figura 9A). A placa foi feita visando isolar eletricamente o circuito de controle (datalogger CR23X) do circuito de potência (acionamento de válvulas e motobombas), com o objetivo de proteger o datalogger de eventuais surtos elétricos que pudessem ocorrer no circuito de potência (rede elétrica).

A interface foi construída com componentes de baixo custo e facilmente encontrados no comércio, ficando o seu custo equivalendo a aproximadamente 4% do valor do datalogger, o que justifica seu uso para a proteção do mesmo.

Os principais componentes da placa foram os isoladores ópticos (modelo TIL 111) que serviram de proteção ao sistema, além de relés de 6V e transistores como pode ser visto na Figura 9B.

Figura 9 - Projeto (A) e interface de acionamento óptico isolado (B)

Além da função de proteção, a interface de acionamento tinha a função de multiplexador de canais, visto que no datalogger a disponibilidade de portas de comando digital era de 8 portas e duas delas (portas C1 e C2) já estavam ocupadas com os comandos do multiplexador diferencial de canais ao qual as células de carga

estavam ligadas. Nesse caso, restavam no datalogger apenas 6 portas de comando e a necessidade seria de 9 portas (uma porta para a motobomba, 4 portas para as válvulas solenóides e 4 portas para as bombas de drenagem).

Para ilustrar melhor a função e o funcionamento da interface ligada ao datalogger e da programação da irrigação, foi feito o fluxograma apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma da lógica da programação e funcionamento da interface de acionamento óptico isolado

Durante todo o período do experimento, a interface de acionamento não apresentou nenhum defeito ou problema de acionamento, sendo de manutenção fácil e de baixo custo, podendo ser recomendada para usos semelhantes às condições apresentadas nesse trabalho.

4.3 Variáveis microclimáticas no interior da casa de vegetação

Durante o período do experimento, algumas variáveis microclimáticas no interior da casa de vegetação foram monitoradas. Um dos fatores de grande importância em ambiente protegido é a umidade relativa do ar (UR); ela está vinculada ao equilíbrio hídrico das plantas, onde um déficit pode alterar a evapotranspiração, alterando a capacidade do sistema radicular de absorver água e nutrientes. A umidade relativa do ar variou de 13 a 96% e sua média para todo o período foi de 67%. Esses valores foram calculados, integrando-se as médias feitas a cada dez minutos pelo sistema automático de aquisição de dados. Na Figura 11 pode ser vista a variação diária da umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação para o período do estudo.

Figura 11 - Variação diária da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação

A temperatura do ar é um dos fatores que mais influencia o consumo hídrico e o desenvolvimento das plantas em geral. Durante o período do experimento, a temperatura variou de 2,1° C a 36,8° C, ficando em média em 18,7° C. A temperatura mínima ocorreu no dia 28 de junho, quando as plântulas ainda não tinham emergido, não causando danos as mesmas. No entanto, após a emergência das plantas, elas passaram por dois períodos com temperaturas abaixo de 5° C, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Variação diária da temperatura do ar no interior da casa de vegetação

Na segunda ocasião com temperatura abaixo de 5° C, ocorrida no dia 4 de agosto no período das 3:30 h até as 7:40 h, em que as plantas foram submetidas a temperatura mínima de 3,2° C, houve queima de folhas em todas as parcelas dos Tratamentos 1, 2 e 3. Esse fato contrasta com dados apresentados por Paulino (2009), e Andrade et al. (2008), que tiveram mudas de pinhão manso submetidas a temperaturas de 2° C e de -2° C respectivamente sem danos aparentes aos tecidos vegetais. As plantas dos Tratamentos 1, 2, 3 e 4 estavam com teor de água médio na avaliação de 1 de agosto de 90,2%; 90,2%; 88,5% e 88,0%, nesta ordem. Deve-se ressaltar que os danos nas folhas (Figura 13) podem ter sido causados pelo vento, já que as folhas que apresentaram queimaduras foram as mais altas dentre as demais.

Figura 13 - Danos causados às folhas por temperaturas abaixo de 3,5° C. Plantas do tratamento 1 (A), plantas do tratamento 2 (B), folha queimada do tratamento 3 (C) e plantas do tratamento 1, uma semana após os danos (D)

4.4 Desenvolvimento e qualidade das mudas

As características de desenvolvimento e qualidade das mudas foram avaliadas em sete momentos para verificar a influência dos níveis de depleção da MCRA do substrato. Os dados foram analisados por regressão polinomial, testando-se os modelos linear e quadrático, com o nível de significância de 1% e 5%, pelo Teste F. Os resultados foram apresentados em gráficos com a média dos valores de 16 repetições e as curvas de regressão quando significativas. Para os dados não significativos, apresentou-se apenas uma reta representativa da média da variável para todo o período.

Na Tabela 1, encontra-se o resumo da análise de variância para as dez variáveis analisadas ao longo do período estudado.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância e médias das alturas, comprimento de raiz (C Raiz), diâmetro do caule (Diâm), número de folhas (NF), área foliar (AF), área foliar média (AF_{méd}), matéria verde aérea (MVA), matéria verde radicular (MVR), matéria seca aérea (MAS) e matéria seca radicular (MSR) em função dos níveis de depleção

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio									
		Altura	C Raiz	Diâm	NF	AF	AF _{méd}	MVA	MVR	MSA	MSR
Depleção	3	82,36*	3,15 ^{ns}	17,17*	18,43*	54.755,92*	144,60*	477,39*	17,79*	3,36*	0,32*
DAS	6	1.214,25*	187,89*	228,25*	153,90*	429.410,47*	4.504,72*	2.861,25*	42,8*	35,92*	3,51*
Dep. x DAS	18	20,36*	3,58 ^{ns}	5,20*	3,55*	13.549,98*	80,85*	106,32*	2,92*	1,1*	0,13*
Resíduo	420	2,07	2,69	0,41	0,21	536,04	17,95	3,48	0,25	0,05	0,05
CV	-	10,46	10,86	8,52	10,28	15,41	13,62	17,07	22,43	19,14	50,42
Média	-	13,76cm	15,11cm	7,55mm	4,47	150,29cm ²	31,11cm ²	10,94g	2,24g	1,20g	0,45g

* Significativo a 1% pelo Teste F; ns Não significativo

Como pode ser percebido, houve efeito significativo ($p < 0,01$) em todas as variáveis analisadas para o fator Depleção, exceto para o comprimento de raiz. Para o fator dias após semeadura (DAS) houve efeito significativo ($p < 0,01$) nas dez variáveis analisadas. Já para a interação dos fatores Depleção x DAS, novamente todas as variáveis tiveram efeito significativo, exceto comprimento de raiz. A seguir encontra-se a discussão do desdobramento da análise estatística para cada variável analisada.

4.5 Altura do caule e comprimento de raiz

Fazendo-se o desdobramento da análise de variância pode-se perceber melhor a influência dos níveis de depleção. Observando a Figura 14, pode-se ver a altura de plantas (considerada desde o substrato até o meristema apical) em função dos níveis de depleção, para as sete avaliações feitas. Para as avaliações feitas aos 18, 25, 32 e 40 dias pode-se ver que as alturas médias de plantas são representadas pelas linhas horizontais no gráfico. As depleções não diferenciaram significativamente o crescimento em altura das plantas até os 40 dias após semeadura; no entanto, a partir deste dia houve efeito quadrático significativo ($p < 0,01$) para as demais avaliações. As equações

mostradas na Figura 14 descrevem bem o crescimento em altura das plantas em função dos níveis de depleção com alto coeficiente de determinação.

Pode-se notar também, que aos 40 DAS o crescimento em altura praticamente cessa para o nível de depleção mais severo; isso foi devido ao alto grau de estresse hídrico que as plantas do T4 foram submetidas. Maes et al. (2009) também confirmam que mudas de pinhão manso de 116 dias podem cessar seu crescimento quando submetidos a altos níveis de estresse hídrico.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 14 - Altura média de plantas, no decorrer do experimento em função dos níveis de depleção aplicados

Na Figura 15 é apresentado o desenvolvimento das mudas, com relação à altura sob os diferentes tratamentos ao longo das 7 avaliações. Os valores apresentados nessa figura representam a altura média de 16 plantas, para cada tratamento em cada avaliação.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 15 - Evolução da altura das plantas para cada nível de depleção ao longo dos períodos avaliados

Nota-se que, nas primeiras três avaliações, as plantas estavam homogêneas quanto à altura e ao crescimento, seguindo uma tendência de crescimento linear, e que aos 46 DAS detectou-se efeito significativo ($p < 0,01$) dos tratamentos, sendo, portanto, apresentadas as equações de primeiro grau que descrevem o crescimento em altura para cada nível de depleção até os 60 dias.

O maior valor absoluto em altura de planta foi encontrado ao final do experimento no T2 com 24,5 cm e média de $22,16 \pm 1,46$ cm, sendo a média do T2 superior à média do T1, T3 e T4 em 10%, 16% e 38% respectivamente. Paulino (2009), utilizando o mesmo tipo de tubete e substrato semelhante, encontrou altura média para plantas de mesma idade de 9,61 cm, ou seja, as plantas do T2 neste experimento ficaram 1,3 vezes maiores. Já em trabalho realizado por Sema et al. (2009) foram apresentados valores similares de altura de plantas, variando de 16,73 cm a 24,05 cm em mudas com 2 meses de idade irrigadas diariamente e cultivadas sob sombreamento em sacos de polietileno.

Como pôde ser visto na análise de variância, a variável comprimento de raiz não teve relação com os níveis de depleção aplicados. No entanto; a equação geral quadrática para os quatro tratamentos em função do tempo descreve bem o

crescimento das raízes nos tubetes. Pode-se notar um crescimento rápido e linear nas três primeiras avaliações, a partir daí o crescimento é estagnado; isso ocorreu pela limitação do tamanho do tubete, fazendo com que as raízes crescessem em média até os 16,4 cm de comprimento, o mesmo ocorreu em trabalho de Paulino (2009) no qual as raízes cresceram até os 15,5 cm. O pinhão manso tem um sistema radicular pivotante e muito agressivo, o que limita a produção de mudas com maior tempo de viveiro em tubetes ou sacos de polietileno já que ocorre a poda natural das raízes por oxidação das mesmas. Na Figura 16 é apresentada equação que descreve comprimento de raiz para os quatro tratamentos, em função do tempo, no período avaliado.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 16 - Comprimento de raiz em função do tempo para o período avaliado

4.6 Diâmetro do caule das plantas

Fazendo-se o desdobramento dos níveis de depleção dentro do fator DAS, pode-se observar na Figura 17 que o diâmetro do caule teve crescimento linear e pode ser descrito pelas equações de primeiro grau ($p < 0,01$) apresentadas. Para esta variável, as diferenças começaram a surgir a partir de 40 DAS entre o T1 e T4

($p < 0,01$) e a partir das avaliações feitas aos 46 DAS o T4 teve um menor crescimento, apresentando os menores valores médios, seguido do T3. Na última avaliação, aos 60 DAS, o T1 e T2 não diferiram ($p < 0,01$), como pode ser observado nas regressões pela semelhança na inclinação das retas, sendo superiores ao T3 e T4, este apresentando os menores valores médios, ou seja, houve efeito dos níveis de depleção para a variável diâmetro do caule, sendo os melhores resultados encontrados para T1 e T2. O maior valor absoluto de diâmetro foi registrado para o T2, com 13,45 mm e média de $11,47 \pm 0,75$ mm, sendo superior em 14% e 38% ao T3 e T4, nesta ordem. Esses valores são inferiores aos apresentados por Sema (2009), que obteve diâmetros médios de até 14,9 mm em plantas de 2 meses de idade cultivadas em sacos de polietileno. Já em Paulino (2009), cultivando mudas de pinhão manso nas mesmas condições de recipiente e adubação, obteve valores inferiores aos deste trabalho, registrando valores médios de 7,97 mm a 9,53 mm, em plantas de mesma idade.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 17 - Evolução do diâmetro do caule para cada nível de depleção ao longo dos períodos avaliados

Aos 40 DAS o T1 e T2, já apresentavam diferença significativa ($p < 0,01$) do T3 e T4, sendo essa diferença aumentada até o final das avaliações.

4.7 Área foliar e número de folhas

Área foliar é um fator muito dinâmico, quando se analisam mudas de pinhão manso. Na primeira análise, aos 18 DAS, quando as plantas estavam somente com as duas folhas cotiledonares abertas, o valor médio para cada planta foi de 40,4 cm², tendo incrementos médios expressivos de 60% semanalmente até os 40 DAS; e nas semanas seguintes o incremento médio foi de 16% até os 60 DAS.

Na Figura 18 são apresentados os valores médios de área foliar para os sete períodos avaliados, em função dos níveis de depleção. Assim como na variável altura de plantas, houve efeito quadrático significativo ($p < 0,01$) para os três últimos períodos avaliados. Os maiores valores de área foliar foram os do T2 com área média de 316,22 cm² aos 60 DAS, seguido de T1 (286,47 cm²), T3 (257,07 cm²) e T4 (160,78 cm²). Maes et al. (2009) apresenta valores de mudas de pinhão manso de 41 dias de idade, cultivadas em vasos de 6,5 L sob irrigação plena, de 136,1 cm² e Sema et al. (2009) mostra valores de área foliar para esta idade de mudas variando de 171,17 cm² a 249,41 cm², sendo valores próximos aos registrados no T4 e T3 deste trabalho e inferiores ao valor registrado no T2 que foi 27% superior àquele.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 18 - Área foliar total por planta, para cada período avaliado após semeadura em função dos níveis de depleções aplicados

Pode-se no diagrama de dispersão que houve aumento da área foliar para os tratamentos T1, T2 e T3 em taxas diferentes e que as regressões convergem para o mesmo ponto no T4, indicando que não houve aumento de área foliar. Isso ocorreu devido a uma redução drástica na expansão dos limbos foliares de novas folhas, deixando-as menores, e a abscisão das folhas mais baixas em relação ao meristema apical, reduzindo assim a área evapotranspirante. Pôde ser percebido também, que as folhas do T4 apresentavam aspecto arroxeadado e textura diferente dos demais tratamentos, podendo isso ser considerado sinal de estresse hídrico. Diferente de outras culturas, as mudas não perdiam turgescência visível nas folhas, mesmo em horários de altas temperaturas, apenas apresentavam os pecíolos mais arqueados.

Pode-se ver na Figura 19 o número de folhas por planta (consideradas folhas com mais de 1 cm²) em função dos níveis de depleção para as sete avaliações feitas. Até os 40 DAS não houve influência nesta variável em função dos tratamentos, no entanto, a partir de 46 DAS pode-se observar efeito quadrático significativo a 5% de probabilidade para 46 DAS e efeito quadrático significativo a 1% de probabilidade para 53 e 60 DAS. O tratamento que proporcionou maior número de folhas foi o T2, com 7,0 folhas aos 60 DAS e o que obteve resultados menos expressivos foi o T4 com apenas 4,4 folhas por planta em média. Isso aconteceu devido à diminuição do tamanho médio das folhas e ao abortamento de folhas ocorrido devido ao estresse hídrico (Figura 20).

* Significativo a 1% pelo Teste F. ** Significativo a 5% pelo Teste F.

Figura 19 - Número de folhas para cada período avaliado após semeadura em função dos níveis de depleções aplicados

Figura 20 - Abortamento de folhas no T4, no decorrer do experimento, em função dos níveis de depleção aplicados.

Segundo Achten et al. (2010), o crescimento de folhas e caule cessa quando o pinhão manso é submetido a estresse hídrico severo e as suas folhas são eliminadas muito rapidamente, assim como em outras plantas suculentas caducifólias. Isso ocorreu neste trabalho conforme foi observado no T4 no qual houve o abortamento de folhas devido ao alto grau de estresse hídrico promovido.

No T1 observam-se valores de área foliar e número de folhas ligeiramente menores que em T2; isso pode ter ocorrido devido ao estresse causado pelo excesso de água, já que o substrato ficava no mínimo com 80% da sua capacidade de retenção de água, diminuindo a aeração e dificultando as trocas gasosas na zona radicular, reduzindo assim a taxa de emissão novas folhas. Maes et al. (2009) em trabalho realizado em condições controladas, em estufa tropical de vidro, onde a temperatura variou de 17° C a 27° C e a UR era mantida constante em 70%, conseguiu mudas de 62 dias após emergência com 30 folhas, cultivadas em vasos de 6,5 L irrigados. Isso indica que, quanto menos competição por luz e quanto mais favoráveis as condições ambientais estiverem, o crescimento inicial desta planta é maior.

O estresse hídrico também levou a diminuição do tamanho médio das folhas no T4 como pode ser visto na Figura 21. Essa condição de baixa disponibilidade de água por períodos mais longos, de até 13 dias como ocorreu no T4, pode fazer com que a expansão celular diminua, e consequentemente seja bastante reduzido o crescimento do limbo foliar, reduzindo a área foliar média. As regressões lineares ajustadas para esta variável ($p < 0,01$) são apresentadas na Figura 21 e descrevem bem o aumento da área média de folha até os 60 DAS.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 21 - Área foliar média, para os quatro níveis de depleção, em função de dias após a sementeira

4.8 Produção de matéria verde e de matéria seca da parte aérea

No desdobramento da análise de variância da variável matéria verde da parte aérea (MVA), dentro de cada período analisado (DAS), em função dos níveis de depleção, pode-se perceber melhor a influência destes. Observa-se na Figura 22 a massa verde acumulada em função dos níveis de depleção para as sete avaliações feitas. Para as avaliações feitas aos 18, 25, 32 e 40 dias, o valor médio para esta variável é representado pelas linhas horizontais no gráfico para cada período. As depleções não diferenciaram significativamente os valores de MVA nas plantas até os 40 dias após semeadura; no entanto, a partir deste dia houve efeito quadrático significativo ($p < 0,01$) para as avaliações feitas aos 46, 53 e 60 DAS. As equações mostradas na Figura 22 descrevem bem o acúmulo de massa verde nas plantas em função dos níveis de depleção com alto coeficiente de correlação.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 22 - Matéria verde aérea para cada período avaliado após semeadura, em função dos níveis de depleção aplicados

Houve incrementos significativos para T1, T2 e T3 em todas as análises realizadas, já em T4, o incremento de matéria verde foi drasticamente reduzido e muitas vezes negativo, devido tanto à redução no crescimento do caule e expansão foliar, quanto à abscisão de folhas e baixa taxa de emissão de novas folhas como foi discutido

anteriormente. Ao final do experimento, as plantas que apresentaram maiores valores de MVA, foram as plantas do T2, com $27,36 \pm 3,04$ g, sendo 9%, 35% e 120% superior às plantas do T1 ($25,09 \pm 4,52$ g), T3 ($20,25 \pm 2,57$ g) e T4 ($12,42 \pm 0,66$ g) respectivamente. Valores médios entre 9,99 g e 10,58 g são apresentados por Paulino (2009) que utilizou o mesmo tamanho de tubete e adubação e substrato semelhante, sendo estes valores muito inferiores aos desta pesquisa, podendo estas diferenças ser atribuídas à variabilidade genética, já que os mesmos foram distintos.

Na Figura 23, verifica-se para cada nível de depleção, em função de DAS, que o aumento de matéria verde das plantas seguiu o modelo de resposta linear para o T1, T2 e T3, já para o T4 o modelo ajustado foi o de resposta quadrática, sendo motivado pela perda de folhas e redução de crescimento como já discutido.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 23 - Matéria verde aérea para cada nível de depleção, em função de dias após semeadura

Assim como a variável MVA, a variável massa seca aérea teve maiores incrementos no T2, já que é dependente daquela. Os modelos lineares ajustados apresentados na Figura 24 tem efeito significativo ($p < 0,01$) para os quatro níveis de depleção aos quais as mudas foram submetidas. O T2 apresentou os melhores

resultados aos 60 DAS, com $3,01 \pm 0,41$ g, sendo 7%, 36% e 93% superior às plantas do T1 ($2,80 \pm 0,59$ g), T3 ($2,22 \pm 0,30$ g) e T4 ($1,56 \pm 0,10$ g) respectivamente. Paulino (2009) encontrou valores de matéria seca aérea variando de 1,19 g a 1,49 g em mudas de pinhão manso cultivadas em condições semelhantes às deste estudo. Já em Lima et al. (2011), em mudas de 30 dias de idade cultivadas sob irrigação diária em tubetes de 290 cm^3 , foram registrados valores médios de 1,0 g a 1,65 g de matéria seca aérea, esses valores são superiores aos registrados no presente trabalho para plantas de mesma idade.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 24 - Matéria seca aérea para cada nível de depleção, em função de dias após semeadura

4.9 Produção de matéria fresca e matéria seca radicular

A variável que demanda mais tempo e mão-de-obra na coleta dos dados para este tipo de experimento, sem dúvida, é raiz. Vários fatores influenciam nos valores coletados, tais como: turgescência e espessura das raízes, que influenciam na sua resistência e coloração, umidade do substrato no momento da separação das raízes, aderência de substrato e raízes nas paredes dos tubetes e o fator humano. Por ser uma

variável de magnitude muito pequena, qualquer partícula de substrato que venha a ser contabilizada juntamente com ela pode interferir nos resultados. A Figura 25 ilustra o processo de separação das raízes.

Figura 25 - Separação manual das raízes: raízes ainda com substrato (A), processo de separação manual (B), muda de 25 DAS demonstrando o volume de raízes (C), raízes separadas para pesagem (D) e muda com 60 DAS evidenciando a raiz pivotante bem desenvolvida (E)

A análise de desdobramento da variável matéria fresca radicular em função de DAS, mostra uma tendência quadrática ($p < 0,01$), embora com uma dispersão maior e

um coeficiente de determinação menor que nas outras variáveis. Mesmo que o tamanho do tubete possa ter limitado o crescimento radicular, as raízes se desenvolveram bem, tomando todo o substrato.

Na Figura 26 podem ser vistos os valores médios registrados para esta variável, bem como a regressão obtida. O valor obtido no ponto de máxima da equação aos 51 DAS é 30% maior que o maior valor médio encontrado por Paulino (2009) que foi de 2,09 g para o mesmo tipo de recipiente e adubação e substrato semelhante.

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 26 - Matéria fresca radicular em função do tempo para o período avaliado

Na Figura 27 estão apresentadas as médias de matéria seca radicular para todo o período avaliado em função dos quatro níveis de depleção. A equação linear ajustada ($p < 0,01$) revela um decréscimo de 3,6% matéria seca radicular entre os níveis de depleção, do menor para o maior, indicando que a falta de água no substrato ocasionou a morte de raízes como foi constatado no momento das coletas.

Lima et al. (2011), avaliando níveis de adubação fosfatada, em tubetes de mesmo volume e duas irrigações diárias, apresentam dados de matéria seca radicular de mudas de pinhão manso aos 30 DAS entre 0,05 g e 0,20 g, sendo este valor 68% inferior ao encontrado em plantas de mesma idade neste trabalho (0,34 g).

* Significativo a 1% pelo Teste F.

Figura 27 - Matéria seca radicular por planta, no decorrer do experimento, em função dos níveis de depleção aplicados

4.10 Relações empíricas

Pela facilidade de medição, os parâmetros morfológicos têm sido mais utilizados no acompanhamento do desenvolvimento e na determinação do padrão de qualidade de mudas. Com o intuito de facilitar a obtenção de área foliar total (Figura 28), quando as plantas ainda não perderam as folhas cotiledonares, e prever o valor da matéria seca aérea (Figura 29), foram feitos dois modelos de regressão empírica para tais variáveis em função do diâmetro do caule.

Os modelos foram calculados contando com um total de 448 observações no decorrer do experimento e foram altamente significativos quanto à sua capacidade de explicar a evolução da área foliar e da matéria seca aérea das mudas de pinhão manso. Este fato foi evidenciado pelos altos valores encontrados para os coeficientes de determinação e ajuste linear significativo a 0,1% pelo Teste F. Achten et al. (2010) ajustaram modelos potenciais empíricos relacionando área foliar total com diâmetro do caule ($AF = 2,03 D^{2,413}$; $R^2 = 0,95$) e massa seca aérea em função do diâmetro do caule

($MSA=0,029 D^{2,328}$; $R^2=0,89$), para mudas de pinhão manso com idade entre 62 e 116 dias, também obtendo bons resultados com níveis de significância menores que 1%.

* Significativo a 0,1% pelo Teste F

Figura 28 - Modelo empírico para área foliar total em função do diâmetro do caule { $F=2182,89$; ($p<0,001$); $a=39,706 \pm 0,851$ ($p<0,001$); $b=149,72 \pm 6,645$ ($p<0,001$)}

* Significativo a 0,1% pelo Teste F.

Figura 29 - Modelo empírico para massa seca aérea em função do diâmetro do caule { $F=5024,21$; ($p<0,001$); $a=0,3814 \pm 0,0054$ ($p<0,001$); $b=1,6832 \pm 0,042$ ($p<0,001$)}

4.11 Consumo hídrico

Após a semeadura, no dia 23 de junho de 2011, todos os tubetes foram totalmente saturados e nos dias seguintes, foram mantidos próximo a capacidade máxima de retenção de água até o início da diferenciação dos tratamentos que se deu no dia 10 de julho, quando mais de 95% das plantas apresentavam as duas folhas cotiledonares bem abertas. Nos dias em que se aguardava a emergência das plantas, foi monitorada perda de água por evaporação na superfície dos tubetes, perdendo-se em média 250 g, ou seja, 250 mL por conjunto de 32 tubetes em cada bancada lisimétrica, por dia (considerando a densidade da água para fins práticos 1 kg dm^{-3} , o que será feito ao longo deste trabalho). Esse valor corresponde a aproximadamente 8 mL de água evaporada por tubete por dia.

A Figura 30 ilustra o funcionamento em um dia normal, sem irrigação (dia 27/06/2011) para os quatro lisímetros montados em estufa em período anterior à emergência das plantas. Nota-se neste dia, para os quatro lisímetros, que a quantidade de água saída do sistema é pequena, sendo de 130, 119, 109 e 123 mL respectivamente, para os lisímetros dos tratamentos 1, 2, 3 e 4. Os baixos valores foram condicionados em grande parte pela radiação global (RG), principal variável meteorológica envolvida no processo evaporativo, diminuída no período da manhã pela nebulosidade. Pode-se notar também, que a temperatura estava amena, não ultrapassando os 26°C no seu horário de pico. Desse modo, o processo evaporativo estava dependente das condições de movimentação do ar e da energia acumulada pelo sistema.

Figura 30 - Dia 27/6 ilustrando um dia sem irrigação e a evolução da massa ao longo do dia dos tubetes (A). Condições de radiação global (RG), umidade relativa (UR) e temperatura do ar (T Ar) para o mesmo dia (B).

Apesar da pequena evaporação ocorrida durante o período noturno, perceptível principalmente nos lisímetros T1 e T4, esses valores não devem ser negligenciados no somatório da evaporação diária quando se utilizam modelos de estimativas de perda de água e principalmente técnicas de determinação da evapotranspiração.

A Figura 31A mostra duas irrigações ocorridas no dia 24 de julho. A primeira ocorreu no Tratamento 4 e a segunda no Tratamento 1, quando ambas atingiram os respectivos valores de depleção máxima (20% para T1 e 80% para T2). Pode-se notar no gráfico que ocorre uma brusca queda no valor de massa em ambos os tratamentos. Isso ocorreu devido ao empuxo exercido pela água nos tubetes dentro da bandeja metálica, quando a irrigação estava ocorrendo, fazendo com que o sistema registrasse tais valores. Em seguida os valores ultrapassaram, também bruscamente, a massa dos valores registrados antes da irrigação, isso foi devido ao ganho de massa de água, fazendo com que os tubetes ficassem totalmente saturados. Após 10 minutos, novo decréscimo pode ser percebido, neste caso, o excesso de água foi drenado livremente fazendo com que os tubetes voltassem à capacidade máxima de retenção de água. Aqui, é importante ressaltar que cada tratamento tinha um determinado valor de massa

para o conjunto quando atingia a MCRA, isso devido a vários fatores: a massa dos suportes e grade, a massa de substrato contido nos tubetes e a massa das plantas não eram iguais para todos os tratamentos.

Para o dia 24 de julho, antes de a irrigação ser feita, os Tratamentos 1 e 4 tinham perdido 444 g e 374 g por evapotranspiração respectivamente e após a irrigação tiveram um ganho de 863 g e 1.852 g de água retornando a MCRA. Já para os Tratamentos 2 e 3 foram contabilizados, para o período de 24 horas, 559 g e 469 g de evapotranspiração, nesta ordem.

No dia seguinte, 25 de julho, nenhum dos tratamentos atingiu o respectivo nível mínimo de massa para que o sistema fizesse o ciclo de irrigação automática (Figura 31B). Os valores de evapotranspiração registrados para este dia foram de 563 g, 607 g, 491 g e 558 g respectivamente. Como se pode notar, novamente o Tratamento 2 foi o que apresentou o maior consumo, tendo este se destacado dentre os demais, como foi abordado nos tópicos anteriores.

Figura 31 - Evolução da massa dos lisímetros ao longo do dia e irrigação nos tratamentos T1 e T4 no dia 24 de julho (A); evolução da massa dos lisímetros no dia 25 de julho (B)

No dia 10 de julho de 2011, aos 17 dias após a semeadura (DAS) mais de 95 % das plantas estavam com as folhas cotiledonares plenamente abertas, foi então que começaram a ser diferenciados os tratamentos. Todos os tratamentos tiveram o nível

elevado à máxima capacidade de retenção de água e a partir daí foi contabilizado o consumo real de água.

Durante o período de aplicação dos tratamentos houve 55 ciclos de irrigação, dos quais 24 no T1, 16 no T2, 9 no T3 e 6 no T4, com uma frequência média de irrigação para o período de 1,8; 2,7; 4,8 e 7,2 dias respectivamente. No entanto houve períodos de 3, 5, 6 e 13 dias entre irrigações nos Tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

O consumo diário registrado em cada tratamento para os 60 dias foi contabilizado e pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 - Consumo médio por tubete para cada tratamento no período de 60 dias

O Tratamento 2 com nível de 40% de depleção da MCRA foi o que apresentou o maior consumo médio por tubete para o período, ficando em 1,51 L. Esse valor é 23, 39 e 75% maior que o consumo médio dos tratamentos 1, 3 e 4 respectivamente. A curva quadrática de tendência tem um alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,807$) e passa por seu ponto de máxima exatamente em 40%. Paulino (2009) utilizando o mesmo tipo de tubete encontrou que o consumo médio do pinhão manso para 60 dias foi de 0,5 L para o substrato de fibra de coco e 1,1 L para o substrato casca de pinus. Já utilizando substrato com características físicas e químicas semelhantes ao utilizado

nesta pesquisa encontrou que o consumo foi de 1,4 L para cada tubete, o que vem corroborar com os valores encontrados neste estudo. Em trabalho realizado por Achten et al. (2010), plantas de pinhão manso cultivadas em estufa sob irrigação plena em vasos de 6,5 L de volume, tiveram um consumo médio diário de 239 mL entre 62 e 116 dias de idade podendo boa parte desse volume ser atribuído a maior área evaporante.

Para todas as variáveis estudadas, exceto raiz, houve decréscimo de seus valores no T1, possivelmente ocasionado pelo excesso de irrigações, bem como nos tratamentos T3 e T4, nestes ocasionado pelos períodos de estresse por falda d'água, sendo portanto recomendado o T2, no qual foram registrados os maiores consumos de água, com 40% de depleção da MCRA para este tipo de tubete e substrato. Segundo Doorenbos e Kassam (1994), existe uma relação direta entre evapotranspiração e o crescimento, ou seja, e evapotranspiração é igual à máxima, e da mesma forma o crescimento, quando a necessidade hídrica da planta é plenamente satisfeita. De modo contrário, quando existe um estresse hídrico, seja por falta ou excesso, ocorre redução do crescimento.

4.12 Concentrações de macro e micronutrientes nas mudas de pinhão manso

Ao final do experimento, foram coletadas 16 plantas de cada tratamento, fazendo-se uma amostra composta; nelas, foram realizadas análises químicas para determinação das concentrações de nutrientes nos tecidos foliar, no caule e nos pecíolos. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Teores de água e concentrações de macro e micronutrientes na parte aérea de mudas de pinhão manso com 60 dias

Tratamento	Água	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	(%)	g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹					
T1	88,9%	16,3	2,4	28,4	7,6	6,5	1,4	11,2	32,5	5,8	216,1	163,3	21,7	3500
T2	89,0%	15,7	2,0	30,4	7,2	6,3	1,3	10,4	29,8	5,1	181,4	182,0	22,4	3500
T3	89,1%	16,6	2,3	32,4	7,2	6,4	1,6	9,2	40,3	4,3	177,2	173,6	22,7	2950
T4	87,5%	21,7	2,7	32,0	7,6	6,9	2,1	6,2	44,7	5,7	238,8	167,9	22,2	2550

Pelos resultados das análises, pode-se perceber que o teor de água nas plantas era semelhante nos Tratamentos 1, 2 e 3, e um pouco inferior no T4, demonstrando que as plantas deste estavam em estado de menor turgescência.

Lima et al. (2011), mostram resultados de concentração de macronutrientes em resposta a adubações com superfosfato simples no qual foram testadas seis doses do fertilizante (0; 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 kg m⁻³) misturado ao substrato. Tais resultados são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de pinhão manso cultivadas em substrato, contendo diferentes doses de fósforo aos 30 dias após a semeadura, estimadas por regressões (adaptado de Lima et al., 2011)

Concentração	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
No ponto de mínima	*35,3	*6,3	*8,1	***2,8	*10,5	*2,5
No ponto de máxima	**43,8	**11,3	**18,7	*3,5	***19,9	****5,9

* Valores encontrados para a dose zero de fertilizante superfosfato simples. ** Valores encontrados para a dose de 12,5 kg m⁻³ de superfosfato simples. *** Valores encontrados para a dose de 8,2 kg m⁻³ de superfosfato simples para Ca, Mg. **** Valor encontrado para a dose de 5,9 kg m⁻³ de superfosfato simples para S.

Comparando-se os resultados apresentados nessas tabelas, pode-se notar que houve grande diferença nas concentrações de macro nutrientes. Os teores de N, P, Mg e S nos resultados de Lima et al. (2011) são praticamente o dobro dos encontrados neste estudo. Já os valores de potássio e cálcio se invertem, sendo os resultados deste estudo o dobro dos valores apresentados por Lima et al. (2011). Estes valores podem ter apresentado esta variação em virtude da diferença de manejo adotado para a irrigação, ou em decorrência da idade das plantas avaliadas, ou ainda pela diferença do fertilizante usado como fonte dos nutrientes numa breve análise, porém, esse ajuste dentro do vegetal passa por processos mais complexos do que os levantados aqui e para serem plenamente compreendidos necessitam ainda de muitas pesquisas. A disponibilidade e as relações entre nutrientes é dinâmica na solução do substrato, e essas interações podem ser sinérgicas, quando um nutriente ajuda o outro a ser absorvido, como o fósforo com o cálcio, ou antagônicas, quando um atrapalha a absorção do outro como o fósforo com o zinco e são bastante dependentes do pH.

Para o cloro, nota-se um aumento linear do nutriente em relação ao número de irrigações realizadas; para o boro, houve uma resposta inversa de acúmulo do nutriente nos tecidos com relação ao acúmulo de matéria seca nos tratamentos, em que o T2 que acumulou maior quantidade de matéria seca e teve o maior consumo de água registrou o menor valor de boro. Para os demais micronutrientes, não foi possível estabelecer relação aparente com os níveis de depleção, com a quantidade de irrigações ou com o crescimento das plantas. A literatura ainda é escassa quando se trata de nutrição e teores de nutrientes na cultura do pinhão manso.

5 CONCLUSÕES

O sistema automatizado de irrigação teve excelente desempenho durante a pesquisa e pode ser usado com segurança para manejo de irrigação em tubetes.

O sistema de subirrigação proporciona crescimento uniforme das mudas de pinhão manso, por manter maior uniformidade na irrigação do substrato. Proporciona economia de água por permitir reciclagem da mesma e melhor aproveitamento dos nutrientes, já que são ciclados juntamente com a água.

O nível ideal de depleção da máxima capacidade de retenção de água para produção de mudas em tubetes é de 40%, proporcionando mudas de melhor qualidade em todas as características avaliadas, exceto comprimento de raiz.

O consumo hídrico médio de mudas de pinhão manso cultivadas em tubetes de 290 cm³ até os 60 dias foi de 1,51 L para o tratamento T2, que proporcionou mudas de melhor qualidade.

Quando submetido a estresse hídrico pela redução de 80% no conteúdo de água do substrato, há redução no crescimento caulinar e redução na expansão foliar das mudas.

REFERÊNCIAS

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

ACHTEN, W.M.J.; MAES, W.H.; REUBENS, B.; MATHIJS, E.; SINGH, V.P.; VERCHOT, L.; MUYS, B. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Biomass and Bioenergy**, Miamisburg, v. 34, n. 5, p. 667-676, 2010

ACHTEN, W.M.J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y.J.; MATHIJS, E.; SINGH, V.P.; AERTS, R.; MUYS, B. *Jatropha* bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, Miamisburg, v. 32, n. 12, p. 1063-1084, 2008.

ANDRADE NETO, A. de. **Avaliação de substratos alternativos e tipos de adubação para a produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arábica* L.) em tubetes**. 1998. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1998.

ANDRADE, G.A.; CARAMORI, P.H.; SOUZA, F.S.; MARUR, C.J.; RIBEIRO, A.M.A. Temperatura mínima letal para plantas jovens de pinhão-manso. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 799-803, 2008.

ARANTES, K.R. **Desenvolvimento de mudas de cafeeiro cultivadas em tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico**. 2007. 79 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

AVELAR, R.C.; DEPERON JR., M.A.; CARVALHO, J.P.F. Produção de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas*) em tubetes. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., 2006, Brasília. **Anais...**Brasília: ABIPTI, 2006. p.137-139.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

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. 62 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro.** Boletim Informativo Nº 1413 - Ano 29. 2003. Disponível em: www.ufmg.br/boletim/bul1413/quarta.shtml. Acesso em: 23 abril 2010.

CORTESÃO, M. **Culturas tropicais:** plantas oleaginosas. Lisboa: Clássica, 1956. 231p.

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

DOURADO, F.W.N.; **Avaliação da qualidade de sementes e plântulas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.).** 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2009.

EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB). In: SEVERINO, L.V.; LIMA, R.L.S. BELTRÃO, N.E.M. **Avaliação de mudas de pinhão manso em recipientes de diferentes volumes.** Campina Grande, 2007. 14p.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO (Pelotas, RS). REISSER JÚNIOR, C. ; MEDEIROS, C. A. B.;BERNADETE RADIN, B. **Produção de mudas em estufas plásticas.** Artigo de divulgação. **Revista Campo & Negócios**, Pelotas, v1, n1p1-5 jan/2008

EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Coletânea sobre pinhão manso. 2003. 86p. Disponível em: <http://www.epamig.br/index>. Acesso em: 23 abril 2011.

FARIA, J.M.R. Produção de mudas de espécies nativas em tubetes. In: WORKSHOP SOBRE AVANÇOS NA PROPAGAÇÃO DE PLANTAS LENHOSAS, 2, 1999, Lavras. **Anais...** Lavras:UFLA, 1999. p. 9-13.

FOIDL, N.; FOIDL, G.; SANCHEZ, M.; MITTELBAACH, M.; HACKEL, S. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. **Bioresource Technology**, Skipton, v. 58, n. 1, p. 77-82, 1996.

GUIRRA, A.P.P.M.; SILVA, E.R. **Automação da Irrigação.** Uberaba-MG, 2010. 7p. (Comunicado Técnico,8.).

HEIFFIG, L.S.; CÂMARA, G.M.S. Potencial da cultura do pinhão-manso como fonte de matéria-prima para o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. In: CÂMARA, G.M. de S.; HEIFFIG, L.S.(Org.). **Agronegócio de plantas oleaginosas:** matérias-primas para biodiesel. Piracicaba-SP: ESALQ, , 2006. v.1, p.105-121

HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas* L.): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research / Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66 p.

HENNING, R.K.; MITZLAFF, K. Von. Production und Nutzung von Purgieröl als Kraftstoff und Rohstoff für die lokale Seifenherstellung im Sahel. In: KRAUSE, R.; SCHELLERT, C. (ed.) **Nachwachsende Rohstoffe aus den Tropen und Subtropen für die Tropen und Subtropen**, 22. Witzenhäuser Hochschulwoche Der Tropenlandwirt, Beiheft 1995. n. 53. p.137-151.

HENNING, R.K. **The *Jatropha* System An integrated approach of rural development**. Gruebels 24, D-88138 Weissensberg, Germany. 2009. 106p.

HOWELL, T. A.; McCORMICK, R.L.; PHENE, C.J. Design and installation of large weighing lysimeters. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 28, n. 1, p. 106-117, 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. (Ed.). **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 1-9.

ICAR; Indian Council of Agricultural Research; New *Jatropha* Variety Identified For Commercial Cultivation, New *Jatropha* Variety Means More Biofuel. Disponível em: <http://www.icar.org.in/node/107>. Acesso em: 20 de julho de 2010.

JACOBSON, B.K.; JONES, P.H.; JONES, J.W.; PARAMORE, J.A. Real-time greenhouse monitoring and control with an expert system. **Computers and Electronics in Agriculture**. Amsterdam, v.3, p.273-285, 1989.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p. (Manuals and Reports on Engineering Practice, 70).

LIMA, R.L.S.; SEVERINO, L.S.; GHEYI, H. R.; VALDINEI SOFIATTI, V.; ARRIEL, N.H. C.; Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão manso. **Revista Ciência Agronômica**. [online], Fortaleza – CE, v.42, n.4, p. 950-956, 2011

MAES, W.H.; ACHTEN, W.M.J.; REUBENS, B.; RAES, D.; SAMSON, R.; MUYS, B. Plant–water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Journal of Arid Environments**, Zhangye, n 73, p. 877–884, 2009.

MENDONÇA, V.; ARAÚJO NETO, S.E.; RAMOS, J.D.; PIO, R.; GONTIJO, C.A. Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro 'sunrise solo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.127-130, 2003.

MOORE, R.P. Interpretation of color differences in tetrazolium testing. **Seed Technologist News**, Jersey City, v. 44, n. 3, p. 22-24, 1972.

PAULINO, J. **Crescimento e qualidade de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) produzidas em ambiente protegido**. 2009. 98 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M.V.; FLUMIGNAN, D.L.; ZOLIN, C.A.; BARBOZA JÚNIOR, C.R.A.; PIEDADE, S.M. de S. Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p37-46, Jan. 2011.

PEIXOTO, A.R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 1973. 284p.

PHENE, C.J.;ALLEE, C.P.; PIERRO, J. Measurement of soil matric potential and real time irrigation scheduling. In:SENSORS & TECHNIQUES FOR IRRIG. MANAGE. CONFERENCE.,1988. Fresno. Center for Irrigation Technology. Publ. 880502. Fresno: California State University,1988. p.63-75.

PINTO, T.L.F.; MARCOS FILHO, J.; FORTI, V.A.; CARVALHO, C.; GOMES JUNIOR F. G. Avaliação da viabilidade de sementes de pinhão manso pelos testes de tetrazólio e de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.31, n.2, p. 195-201, 2009.

ROSCOE, R. **O que muda com a liberação do plantio de pinhão-manso no Brasil?** Catalogo da Indústria do Biodiesel 2008. Disponível em: www.biodieselbr.com/colunistas/convidado/muda-liberacao-plantio-pinhao-manso-brasil-07-02-08.htm. Acesso em; 24 abril 2011.

SATURNINO, H.M.;PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N; GONÇALVES, N.P. Cultura do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p.44-78, 2005.

SEMA, R.B.; DEMUNER, W.G.; HEBLING, S.A. Efeito de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. em casa de vegetação. **Natureza on line**, v.7, n.1,p. 31-36, 2009.

SEMA, R.B.; DEMUNER, W.G.; HEBLING, S.A.; Efeito de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. em casa de vegetação. **Natureza on line**, v.7, n.1, p.31-36, 2009.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R. A maior estiagem do século? **Notícias Piracena**, Piracicaba, v.6, n.50, p.1, 2000

SEVERINO, L.S. VALE, L.S. BELTRÃO, N.E.M. A simple method for measurement of *Jatropha curcas* leaf area. **Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande, v.11, n.1, p.9-14, jan./abr. 2007

SILVA, E.M. **Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando controle da salinidade do solo para a cultura da berinjela**. 2010. 78 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGIOTTO, S.R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 53-58, 1999.

SILVA, T.J.A.; MONTENEGRO, A.A.; RODRIGUES, J.J.V., BONFIM, E.M.S. Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina – PE. **Engenharia agrícola**, Botucatu, n. 23, n. 3, p. 511-520, 2003.

SIMÕES, J.W. Problemática da produção de mudas em essências florestais. **IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 13, p. 1-29, dez. 1987 (Série Técnica).

SUJATHA, M.; DHINGRA, M. Rapid plant regeneration from various explants of *Jatropha integerrima* – Hypocotyl culture, shoot culture, leaf culture and peduncule culture medium optimization for oilseed ornamental plant propagation. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 35, n. 3, p.293-296, Dec. 1993.

TEWARI, D.N. **Jatropha and biodiesel**. New Delhi: Ocean Books, 2007.p242

WESSELS, W.P.J.; STEYN W.H.; MOOLMAN, J.H. Automatic microirrigation and salt injection system for research and commercial applications. In: INT. MICROIRRIG. CONGRESS,5., 1995. St. Joseph, Mich **Proceedings...** St. Joseph, Mich.: ASAE. 1995. p.116-122.

ZAZUETA, F.S.; BUCKLIN, R.; JONES, P.H.; SMAJSTRLA, A.G. **Basic Concepts in Environmental Computer Control of Agricultural Systems**; SS-AGE-28 Agricultural Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service; June, 1992a. p1-9

ZAZUETA, F.S.; SMAJSTRLA, A.G.; Microcomputer-Based Control of Irrigation Systems. **American of Society of Agriculture Engeneering**, Saint Joseph, v.8, n.5, p.593-596, Sep., 1992b

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. of United Nations, Rome: FAO, 1998.p326 (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVES JÚNIOR, J.; FOLEGATTI, M.V.; PARSONS, L.R.; BANDARANAYAKE, W.; SILVA, C.R. da; SILVA, T.J.A. da; CAMPECHE, L.F.S.M. Determination of the crop coefficient for grafted 'Tahiti' lime trees and soil evaporation coefficient of Rhodic Kandiuclay soil in Sao Paulo, Brazil. **Irrigation Science**, Berlin, v. 25, p. 419–428, 2007.
- ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.
- BARBOZA JÚNIOR, C.R.A. **Evapotranspiração da lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) determinada por lisimetria de pesagem**. 2007. 65 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- BRITO, A. Alta da Soja prejudica a entrega do Biodiesel. **Folha de São Paulo**, Campinas, p. B1. Edição de 15 de abril de 2008.
- CASTRO A.G.; CARVALHO C.M.; CÂNDIDO D.M.; Instituto Florestal. Avaliação da germinação em viveiro da espécie *Jatropha curcas* L. (Pinhão manso) de distintas procedências. Disponível em: <http://www.cori.unicamp.br/centenario2008/completos/A39%20-%20AVALIACAO%20DA%20GERMINACAO%20EM%20VIVEIRO%20DA%20ESPECIE%20%20JATROPHA%20CURCAS%20L.pdf> Acesso em: 23 abril 2010.
- FIALHO, A.B. **Instrumentação industrial**: conceitos, aplicações e análises. 4.ed. rev. e atual. São Paulo: Livros Érica, 2006. 278p.
- FRASON, M.A.H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington; American Public Health Association, 1995. p 288
- KUMAR, A.; SHARMA, S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. **Industrial Crops and Products**, New Delhi, v. 28, n. 1, p. 1-10, 2008.

MACIEL, P.H.F.Z.A.; ROCHA, D. da S.; PARO P.; GIODA, BOTREL, M. M.C.G.; Produção de mudas de *Jatropha curcas* L. em diferentes Substratos. Disponível em: <http://www.fag.edu.br/graduacao/agronomia/arquivos/jatrophacurcas.pdf> Acesso em: 23 abril 2010.

OLIVEIRA, N. União Brasileira de Biodiesel garante que setor já tem produtividade para aumentar adição ao diesel; (Empresa Brasil de Comunicação, Entrevista 14/05/2010) Disponível em: http://agenciabrasil.ebc.com.br/home/-/journal_content/56/19523/951506 Acesso em: 20 jul. 2010.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, Miamisburg, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2000.

SEVERINO, L.S.; NÓBREGA, M.B.M.; GONÇALVES, N.P.; EGUIA, M.T.J. Viagem à Índia para prospecção de tecnologias sobre mamona e pinhão manso. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. (Embrapa Algodão. Documentos, 153). Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2006/DOC153.pdf> Acesso em: 23 abril 2010.

ANEXOS

ANEXO A - Cálculo do erro esperado das bancadas lisimétricas utilizando células de carga ALFA INSTRUMENTOS® segundo o método de Kleine e McClintock (FIALHO, 2006)

$$E_T = \sqrt{(E_1)^2 + (E_2)^2 + (E_3)^2}$$

Em que:

$$E_T = \sqrt{(3)^2 + (3)^2 + (3)^2}$$

E_T é o erro total do lisímetro (g);

$$E_T = \sqrt{9+9+9}$$

E_1 é o erro associado à célula de carga 1 (g);

$$E_T = \sqrt{27}$$

E_2 é o erro associado à célula de carga 2 (g);

$$E_T = 5,2 \text{ g}$$

E_3 é o erro associado à célula de carga 3 (g);

ANEXO B - Resultado de análises do substrato utilizado no experimento

Número do laboratório: R – 179

Data da emissão: 16/05/2011

Determinações	Unidade	Umidade natural	Base seca	
			60-65° C	110° C
pH em CaCl ₂ 0,01M		5,80		
Densidade	(g cm ⁻³)	0,53		
Umidade perdida a 60 - 65° C	(%)	38,00		
Umidade perdida entre 65 e 110° C	(%)	1,21		
Umidade total	(%)	39,21		
Inertes		0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica total (combustão)	(%)	23,79	38,37	39,13
Matéria orgânica compostável	(%)	21,60	34,84	35,53
Matéria orgânica resistente à compostagem	(%)	2,19	3,53	3,6
Carbono total (orgânico e mineral)	(%)	13,22	21,32	21,75
Carbono orgânico	(%)	12,00	19,35	19,74
Resíduo mineral total	(%)	37,00	59,68	60,87
Resíduo mineral insolúvel	(%)	28,30	45,65	46,55
Resíduo mineral solúvel	(%)	8,70	14,03	14,31
Nitrogênio total	(%)	0,30	0,48	0,49
Fósforo total (P ₂ O ₅)	(%)	0,21	0,34	0,35
Potássio total (K ₂ O)	(%)	0,07	0,11	0,12
Cálcio total (Ca)	(%)	0,74	1,19	1,22
Magnésio total (Mg)	(%)	0,24	0,39	0,39
Enxofre total (S)	(%)	0,07	0,11	0,12
Relação C/N (C total e N total)		44/1	44/1	44/1
Relação C/N (C orgânico e N total)		40/1	40/1	40/1
Cobre total (Cu)	(mg kg ⁻¹)	15,0	24,0	25,0
Manganês total (Mn)	(mg kg ⁻¹)	145,0	234,0	239,0
Zinco total (Zn)	(mg kg ⁻¹)	29,0	47,0	48,0
Ferro total (Fe)	(mg kg ⁻¹)	10676,0	17.219,0	17.562,0
Boro total (B)	(mg kg ⁻¹)	3,0	5,0	5,0
Sódio total (Na)	(mg kg ⁻¹)	108,0	174,0	178,0