

EFEITO DO CONFINAMENTO DO SISTEMA RADICULAR SOBRE  
AS MEDIDAS BIOMÉTRICAS, TROCAS GASOSAS E PRODUÇÃO  
DE ÓLEO ESSENCIAL EM CAPIM-LIMÃO

**CLÁUDIA LOPES PRINS**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO - 2007

EFEITO DO CONFINAMENTO DO SISTEMA RADICULAR SOBRE  
AS MEDIDAS BIOMÉTRICAS, TROCAS GASOSAS E PRODUÇÃO  
DE ÓLEO ESSENCIAL EM CAPIM-LIMÃO

**CLÁUDIA LOPES PRINS**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Mestre em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Silvério de Paiva Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO - 2007

EFEITO DO CONFINAMENTO DO SISTEMA RADICULAR SOBRE  
AS MEDIDAS BIOMÉTRICAS, TROCAS GASOSAS E PRODUÇÃO  
DE ÓLEO ESSENCIAL EM CAPIM-LIMÃO

**CLÁUDIA LOPES PRINS**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Mestre em Produção Vegetal”

Aprovada em 27 de fevereiro de 2007.

Comissão Examinadora:

---

Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia) – UENF

---

Eliemar Campostrini (D.Sc., Fisiologia Vegetal) – UENF

---

Anderson Ramos de Oliveira (D.Sc., Produção Vegetal) – EMBRAPA SEMI ÁRIDO

---

Prof. Silvério de Paiva Freitas (D. Sc., Fitotecnia) – UENF  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense  
Ao CNPq, pelo apoio financeiro

## SUMÁRIO

Resumo	v
Abstract	vii
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	4
3. Material e Métodos	12
3.1. Localização do Experimento	12
3.2. Delineamento Experimental	12
3.3. Material Biológico	13
3.4. Análise do Crescimento	13
3.5. Análise das Trocas Gasosas e Rendimento Máximo do Fotossistema II	14
3.6. Determinação do Teor de Óleos Essenciais	14
3.7. Determinação do Teor de Citral	15

4. Resultados	16
5. Discussão	28
6. Resumo e Conclusões	34
Referências Bibliográficas	36
Apêndice	43

## RESUMO

PRINS, Cláudia Lopes; Eng<sup>a</sup>. Agr<sup>a</sup>.; M. Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Fevereiro de 2007; Efeito da restrição do crescimento sobre a produção de óleo essencial em capim-limão. Professor Orientador: Silvério de Paiva Freitas.

*Cymbopogon citratus* (capim-limão) é uma gramínea aromática, cujo óleo essencial, rico em citral, tem grande uso industrial devido ao característico aroma de limão. Metabólitos secundários, como os óleos essenciais, são compostos com funções protetoras e ecológicas. Por este motivo podem ter sua biossíntese influenciada por fatores exógenos. Frequentemente, condições de estresse são consideradas como promotoras da biossíntese dos óleos essenciais. O confinamento do sistema radicular é um fator de estresse mecânico que pode ocorrer sob diversas condições, sobretudo durante o cultivo em recipientes. Como resposta, as plantas apresentam redução do crescimento. Os efeitos sobre a fotossíntese são variáveis. As causas das respostas obtidas ainda não foram completamente elucidadas, no entanto, estudos demonstram que fatores hormonais têm expressiva influência sobre os efeitos observados. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do confinamento do sistema radicular sobre o crescimento (número de perfilhos, área foliar, matéria seca da parte aérea e radicular), trocas gasosas (taxa transpiratória, condutância estomática e taxa fotossintética), rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), teor de

óleo essencial e teor de citral em capim-limão. Mudanças de capim-limão foram cultivadas em vasos de 42, 11, 6, 1,5 e 0,5 L durante 180 dias. Mensalmente, a partir dos 60 dias após o plantio (60 DAP), foram avaliados: número de perfilhos, área foliar, matéria seca da parte aérea e de raízes, transpiração, condutância estomática, taxa fotossintética, rendimento máximo do fotossistema II, teor de óleo essencial e teor de citral. Verificou-se que o confinamento reduziu o crescimento da parte aérea e da raiz de capim-limão, principalmente pela redução do perfilhamento. Sob confinamento, as plantas apresentaram reduções na matéria seca da parte aérea e na área foliar. A razão parte aérea/raiz foi decrescente. A taxa fotossintética, assim como a taxa transpiratória e a condutância estomática, diminuíram em função do tempo de confinamento em plantas crescidas em vasos de 11, 6, 1,5 e 0,5 L, enquanto tais características mantiveram-se constantes nas plantas crescidas em vasos de 42 L. O rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) não diferiu entre volumes de vasos até os 90 DAP. A partir dos 120 DAP, observou-se que a redução do volume dos vasos resultou em decréscimo desta característica. De maneira independente, o tempo de confinamento reduziu os valores de  $F_v/F_m$ , exceto nas plantas crescidas em vasos de 42 L, nas quais a razão permaneceu estatisticamente constante. O teor de óleo essencial não variou ao longo do tempo em plantas cultivadas em vasos de 1,5 e 6 L, enquanto a resposta foi quadrática em plantas crescidas em vasos de 11 e 42 L, com teores máximos por volta dos 120 e 150 DAP, respectivamente. O teor de citral aumentou com o tempo de cultivo, não sendo influenciado pelos níveis de confinamento utilizados.

## ABSTRACT

PRINS, Cláudia Lopes; Agronomist M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense - Darcy Ribeiro; February 2007; Effect of growth restriction on lemongrass essential oil production. Advisor: Silvério de Paiva Freitas.

*Cymbopogon citratus* (lemongrass), an aromatic grass, possesses a rich citral essential oil, greatly used by industries due to its lemon scent. Secondary metabolites, like essential oils, are compounds with protection and ecological functions. Therefore its biosynthesis could be affected by external factors. Stressful conditions are often considered suitable for essential oil biosynthesis. The root growth confinement is a mechanical stress that occurs under some conditions mainly when pots are used. In response the plant reduces its growth. Effects on photosynthesis are variable. The cause of these responses are not completely explained, nevertheless, some studies demonstrated significant influence of hormones in the achieved results. This work aims to evaluate the effects of root confinement on growth (number of tillers, aerial foliage, shoot and root dry mass), gas exchange (transpiration rate, stomatal conductance and photosynthetic rate), photosystem II maximum quantum yield ( $F_v/F_m$ ), essential oil, and citral percentage in lemongrass. Lemongrass tillers were grown in 42, 11, 6, 1.5 and 0.5 L pots for 180 days. Monthly, as of 60 days after planting (60 DAP), were evaluated: number of tillers, foliage area, aerial and root dry mass, transpiration rate, stomatal conductance, photosynthesis rate, maximum fluorescence quantum yield, essential oil, and citral percentage. Was verified reduced aerial growth in lemongrass under root growth confinement, mainly due to reduction on tillering.

Under confinement, plants showed smaller shoot and root dry mass and foliage area. The aerial / root ratio decreased. The photosynthetic rate, as well as transpiration rate, and stomatal conductance diminished during experimental period on plants growing in 11, 6, 1.5 and 0.5 L pots. Whereas these characteristics were constant on plants growing in 42 L pots. Until 90 DAP no difference between pots was verified for maximum fluorescence quantum yield (Fv/Fm). From 120 DAP was observed decrease in Fv/Fm ratio as reducing pot volume. Was also verified a drop on Fv/Fm ratio along the time, except for plants growing in 42 L pots, which the ratio didn't vary. On plants growing in 6 and 1.5 L pots the percentage of essential oil didn't vary during the 180 days of growing. Whereas the response were quadratic for plants growing in 11 and 42 L pots, showing greatest percentages around 120 and 150 DAP, respectively. The citral percentages were not affected by confinement, however increased in time.

## 1. INTRODUÇÃO

Plantas aromáticas são assim denominadas em decorrência da quantidade expressiva de óleos essenciais que estas produzem. Óleo essencial é o produto extraído dessas plantas e tem como principais características a volatilidade e a baixa solubilidade em água (Saito e Scramin, 2000).

*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (Poaceae) é uma planta aromática, cujo óleo essencial apresenta atividades antibacteriana, antifúngica, sendo também repelente e inseticida (Gomes e Negrelle, 2003; Freitas, 2005; Rauber et al., 2005). O composto majoritário do óleo essencial, o citral, é utilizado na indústria alimentícia devido ao aroma de limão, sendo também matéria-prima para síntese de vitamina A na indústria química (Budavani et al., 1996). A espécie é amplamente utilizada na medicina popular de inúmeros países (Gomes e Negrelli, 2003).

Embora o Brasil não se destaque pelo cultivo de plantas medicinais e/ou aromáticas, a crescente demanda tem estimulado o ingresso de produtores no setor. Porém, algumas dificuldades relacionadas ao cultivo de plantas medicinais e/ou aromáticas ainda são encontradas. A qualidade, em termos de teor de princípios ativos, é um fator de relevância, sendo uma das principais reclamações dos consumidores, sobretudo, empresas representadas por fabricantes de essências e aromas, laboratórios farmacêuticos e indústrias alimentícias, entre outras (Garcia et al., 1999).

O teor de princípios ativos é uma característica que indica a qualidade do material vegetal e pode contribuir para elevar seu valor no mercado. Diversos fatores podem influir sobre tal característica, sendo aqueles relacionados ao cultivo os primeiros a serem considerados para o processo de controle da qualidade em plantas obtidas por este meio. Algumas empresas elaboram manuais de qualificação para produtores, em que aspectos do manejo da cultura são considerados para a classificação da qualidade do produto (Dall`Agnol e Bergel, 2002).

Atualmente, plantas aromáticas estão incluídas entre culturas de significância para agricultura, com mais de 250 tipos de óleos e produção mundial de 120.000 t por ano, movimentando 1,2 bilhão de dólares no mercado mundial (Rajeswara Rao et al., 2005). Essa relevância tem levado a diversas pesquisas, visando ao aumento da produção e à melhoria da qualidade dos óleos essenciais.

Óleos essenciais é a denominação dada ao grupo de substâncias com características químicas específicas (alta volatilidade e baixa solubilidade em água) e que tem como precursor o isopentenil pirofostato (IPP). Juntamente com outras classes de compostos, os óleos essenciais são classificados como metabólitos secundários.

Os metabólitos secundários não participam de processos vitais, mas são importantes para a interação da planta com o meio no qual esta se desenvolve. Esta característica faz com que os aspectos relativos ao manejo agrônomico de plantas aromáticas sejam importantes para a otimização da produção de óleos essenciais. Por meio da manipulação de fatores ambientais como, por exemplo, nutrição, disponibilidade hídrica, época e local de plantio, é possível alterar o teor e a composição de óleos essenciais (Reis e Mariot, 2001). No entanto, ao contrário dos processos de crescimento, cujas respostas aos fatores ambientais e agrônomicos são conhecidas, a produção de metabólitos secundários em função desses fatores ainda são pouco claras.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos visando obter informações sobre a produção de óleos essenciais, com o objetivo de fornecer subsídios para a escolha do manejo agrônomico mais adequado para o cultivo de espécies aromáticas.

Sabe-se que o ambiente exerce grande influência sobre o crescimento e fisiologia da planta e que significativas alterações podem ocorrer de acordo com variações ambientais. Desta maneira, o estudo ecofisiológico é de grande relevância para a compreensão da interação entre o ambiente e a produção de óleos essenciais.

A interdependência entre sistema radicular e parte aérea promove uma relação de influência mútua entre estes componentes. Nota-se que a restrição do crescimento do sistema radicular é um fator estressante e que promove alterações no metabolismo e crescimento das plantas (Carmi e Heuer, 1981).

A restrição do crescimento da raiz pode alterar a atividade fotossintética, promover o acúmulo de carboidratos e reduzir o crescimento da parte aérea. Tais efeitos podem ser relevantes para a produção de óleo essencial de capim-limão, pois a fotossíntese é a principal fonte de carboidratos para a biossíntese dos óleos. Além disso, as células nas quais os óleos essenciais são biossintetizados e armazenados localizam-se na folha, órgão cujo crescimento é fortemente inibido sob condições de restrição do crescimento do sistema radicular.

É prática comum a associação da produção de metabólitos secundários a condições de estresse. Porém, há trabalhos nos quais esta tendência não se confirma (Leal, 1998). O estudo das respostas relativas à produção de óleos essenciais de espécies sob condições de estresse como, por exemplo, o confinamento do sistema radicular, é importante para obtenção de informações sobre as tendências de alocação de recursos para estes compostos. Tais conhecimentos são de grande valor para o desenvolvimento de práticas de cultivo de espécies aromáticas.

Nesta pesquisa o objetivo geral foi avaliar a resposta de capim-limão em termos de crescimento, atividade fotossintética e produção de óleo essencial sob condição de estresse oriunda do confinamento do sistema radicular, e o específico foi avaliar o crescimento (número de perfilhos, área foliar, matéria seca da parte aérea e radicular), as trocas gasosas (transpiração, condutância estomática e taxa fotossintética líquida), o rendimento quântico máximo do fotossistema II e os teores de óleo essencial e citral.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### CAPIM-LIMÃO [*Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf]

De acordo com Gomes e Negrelle (2003), a classificação botânica do capim-limão é:

Reino: Plantae

Divisão: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Ordem: Poales

Família: Poaceae (R.BR.) Barnhat

Gênero: *Cymbopogon* Spreng.

Espécie: *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf

O gênero *Cymbopogon* é o mais representativo da família Poaceae quanto à produção de óleos essenciais, uma vez que poucas gramíneas são aromáticas (Ortiz et al., 2002). Espécies do gênero, cujo centro de origem é o Sudeste Asiático, são cultivadas para extração de óleos essenciais da parte aérea. Tais óleos são utilizados nas indústrias de perfume e cosméticos, sendo também usados como repelentes e inseticidas (Freitas, 2005). De maneira geral, são plantas resistentes encontradas em regiões tropicais e sub-tropicais (Fatima et al.,

2002). São perenes, podendo ser produtivas por um período de 3 a 5 anos (Ortiz et al., 2002).

Classificada inicialmente como *Andropogon citratus* por De Candolle, a espécie foi reclassificada por Otto Stapf com o nome científico de *Cymbopogon citratus*. É conhecida popularmente no Brasil como cidreira, denominação utilizada para plantas que tem aroma de limão (Gazola et al., 2004). Outros nomes populares são: capim-cidró, capim-limão, capim-cidreira e chá de estrada (Castro e Ramos, 2003).

O chá das folhas é utilizado como antiespasmódico, analgésico, antiinflamatório, antipirético, diurético e sedativo, dentre outros (Gomes e Negrelle, 2003; Rauber et al., 2005).

É uma planta que cresce formando touceiras de 1m ou mais de altura. Apresenta rizomas curtos. As folhas possuem bainhas fechadas na base e estriadas, lígula membranácea ou árida, 4-5mm de comprimento, lâminas eretas, planas, ponta setácea, aproximadamente 1m de comprimento, 5-15mm de largura. Inflorescências em pares de racimos espiciformes, terminais, 30-60cm de comprimento (Gomes e Negrelle, 2003).

A anatomia da lâmina foliar revela que o mesofilo é homogêneo, encontrando-se no lado adaxial as células buliformes, enquanto na região mediana situam-se os feixes vasculares maiores, ligados por extensões de bainha esclerenquimática a ambas as faces da epiderme. Entre os feixes vasculares observa-se três a cinco pequenos feixes vasculares ligados apenas à epiderme abaxial. O mesofilo apresenta-se com clorênquima composto por células pequenas e isodiamétricas. A bainha que envolve o feixe vascular é dupla, esclerenquimática e cercada por células com parede espessada uniformemente. As epidermes são formadas por células pequenas de parede cutinizada e consistem de células retangulares longas e curtas, com o eixo paralelo ao comprimento das folhas. Ocorre presença de abundantes estômatos, observados nas duas faces das folhas. Nas epidermes foram encontrados tricomas aculiformes, pontiagudos e unicelulares, inseridos na região das nervuras da folha. Entre as regiões das nervuras encontram-se micro-pêlos (Martins et al., 2004).

Diferentemente de outras plantas aromáticas, *C. citratus* não possui tricomas glandulares na superfície das folhas. Segundo Lewinsohn et al. (1998), o óleo essencial é armazenado em células de óleo no parênquima das folhas (idioblastos), as quais têm como característica a pronunciada lignificação das paredes celulares, o que pode estar relacionado a um mecanismo de proteção do tecido por meio da formação de uma barreira impermeável que mantém o óleo isolado das células adjacentes.

É uma planta C<sub>4</sub> (Lewinsohn et al., 1998) tipo NADP-ME, ou seja, enzima málica NADP dependente (Bertea et al., 2003).

Rajendrudu e Das (1981), estudando características fotossintéticas de gramíneas tropicais aromáticas, dentre as quais encontravam-se espécies do gênero *Cymbopogon*, verificaram que essas apresentaram baixo ponto de compensação de CO<sub>2</sub> (0-5 μL L<sup>-1</sup>). O CO<sub>2</sub> não foi limitante com o aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintetizantes. A fotossíntese líquida ótima ocorre sob altas temperaturas (35°C), as espécies apresentaram também altas taxas fotossintéticas líquida (55-67 mg CO<sub>2</sub> dm<sup>-2</sup> área foliar h<sup>-1</sup> ou 34-42 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e pouca ou nenhuma resposta da fotossíntese às alterações na concentração de O<sub>2</sub>.

De modo geral, espécies do gênero *Cymbopogon* são resistentes à seca, e somente deficiências nutricionais severas reduzem significativamente a produtividade (Ortiz et al., 2002).

O crescimento do sistema radicular de *C. citratus* é rápido. Tscherning et al. (1995) observaram que o comprimento cumulativo da raiz foi de aproximadamente 16 metros, 34 semanas após o plantio. Os mesmos autores verificaram que o sistema radicular de *C. citratus* é superficial, concentrando-se nos primeiros 30 cm da superfície do solo.

O rendimento do óleo essencial de *C. citratus*, com base na matéria seca, situa-se em torno de 0,2 a 2%, podendo atingir 3,0%, (Leal, 1998; Carlson et al., 2001). O óleo essencial de *C. citratus* consiste de monoterpenos, hidrocarbonetos, cetonas, aldeídos e ésteres e sua utilização está associada às características aromáticas e atividades biológicas de seu composto majoritário citral (Rauber et al., 2005). Além de citral, o óleo essencial de *C. citratus* apresenta também mirceno e outros compostos minoritários.

Citral é a denominação dada à mistura natural dos isômeros dos aldeídos monoterpênicos acíclicos geranial (*trans*-citral ou citral A) e neral (*cis*-citral ou citral B). Devido ao aroma de limão, o citral é muito utilizado nas indústrias alimentícias e de flavorizantes. Também é matéria-prima nas indústrias farmacêutica, de cosméticos e perfumaria, especialmente para síntese de vitamina A e iononas. Atividades antifúngicas, bactericidas e inseticidas são atribuídas ao citral. Além disso, também é um inibidor da germinação de sementes (Lewinsohn et al., 1998).

Quanto ao teor de citral, foram observadas variações de acordo com a região na qual as plantas foram cultivadas. No Rio Grande do Sul foi obtido 86% de citral, no Ceará detectou-se 80% e em São Paulo apenas 47% (Leal, 1998), no entanto as condições de cultivo não foram especificadas. De maneira geral, o óleo essencial de *C. citratus* apresenta de 65 a 80% de citral, sendo considerado de alta qualidade o óleo que possui teor superior a 75% (Schaneberg e Khan, 2002).

O conceito biológico de metabólitos secundários pode ser atribuído a Kossel, que em 1891, os definiu como opostos aos metabólitos primários. Plantas sintetizam diversos metabólitos, os quais podem ser classificados em dois grupos, de acordo com suas funções. Assim, tem-se metabólitos primários que participam da nutrição e de processos metabólicos essenciais e metabólitos secundários que estão relacionados às interações ecológicas entre as plantas e o ambiente (Rodríguez-Concepción e Boronato, 2002).

Em 1888, Stahl demonstrou experimentalmente a importância dos metabólitos secundários como defesa contra herbívoros, porém as explicações evolucionistas para este fato não foram aceitas, permanecendo a idéia de que eram “lixos” metabólicos derivados do “metabolismo primário”. Em 1921, Czapek os descreveu como produtos finais derivados do metabolismo do nitrogênio por modificações secundárias como desaminações (Wink, 2003).

O desenvolvimento de técnicas analíticas permitiu a descoberta de vários destes compostos e a importância destes para a adaptação da planta ao ambiente foi verificada graças ao avanço de técnicas bioquímicas e de biologia molecular (Bourgaud et al., 2001).

Inicialmente, acreditava-se que os metabólitos secundários eram de ocorrência exclusiva em vegetais, porém, todos os organismos vivos podem sintetizar compostos classificados como secundários (Hadacek, 2002).

Dentre as diversas classes de metabólitos secundários estão os isoprenóides (também terpenóides ou terpenos), assim denominados em referência à unidade básica de formação: a molécula de 5 carbonos isopentenil pirofostato (IPP). Isoprenóides são encontrados em todas as plantas como metabólitos primários (ubiquinonas, plastoquinonas, giberelinas, brassinosteróis, carotenóides e outros) (Rodríguez-Concepción e Boronato, 2002). Porém, os isoprenóides classificados como metabólitos secundários são de grande importância em virtude de suas funções ecológicas como atração de polinizadores e dispersores de sementes, proteção contra herbívoros (Paré e Tumlinson, 1999) e alelopatia (Wink, 2003).

Os terpenos (denominação mais comumente usada) são biossintetizados através de duas rotas: a rota do mevalonato e a rota do metilieritritol 4 fosfato (MEP). A primeira ocorre no citosol e no retículo endoplasmático (Hadacek, 2002), tendo como precursor acetil-CoA, enquanto a segunda ocorre nos plastídeos a partir do gliceraldeído-3 fosfato e piruvato (Rodríguez-Concepción e Boronato, 2002). Ambas dão origem ao isopentenil pirofosfato (IPP) que sofre isomerização (isopentenil pirofosfato isomerase) formando o dimetilalil pirofosfato (DMAPP), o substrato para a isopreno sintase, enzima presente no cloroplasto que por meio da quebra do pirofosfato produz o isopreno (um composto de 5 carbonos, ou seja, um hemiterpeno). A adição de uma molécula de IPP ao DMAPP por meio de preniltransferases origina o geranyl pirofosfato (GDP). Condensações sucessivas de IPP (por meio de preniltransferases específicas) originam também farnesil pirofosfato (FDP) e geranylgeranyl pirofosfato (GGDP), moléculas estas que são precursoras imediatas dos monoterpênicos ( $C_{10}$ ), sesquiterpênicos ( $C_{15}$ ) e diterpênicos ( $C_{20}$ ), respectivamente. Estes grupos de terpenos serão convertidos pelas terpeno sintases formando outros compostos. Há também os triterpênicos, tetraterpênicos e politerpênicos com, respectivamente, 30, 40 e mais de 45 carbonos (Bohlmann et al., 1998; Trapp e Croteau, 2001).

Os produtos das terpeno sintases podem ser acumulados ou ainda sofrer diversas reações (oxidação, redução, isomerização, conjugação e outras), gerando estereoisômeros e variantes metabólicas (Kesselmeier e Staudt, 1999;

Sangwan et al., 2001), que resultam na grande diversidade química observada nesta classe de metabólitos secundários.

Mono e sesquiterpenos são os principais constituintes dos óleos essenciais, extraídos de vegetais e amplamente utilizados pelo Homem devido ao aroma e/ou as suas atividades terapêuticas, antimicrobianas e antioxidantes (Burt, 2004). Além disso, possuem também atividades biológicas que permitem grande potencial de uso como herbicidas (Abrahim et al., 2003), pesticidas (Burfield e Reekie, 2005) e anticarcinogênicos (Mahmoud e Croteau, 2002; El Tamer, 2005).

O sistema radicular se desenvolve no escuro e assim é dependente de assimilados que proverão energia para o seu crescimento e absorção de nutrientes. Desta forma, a importação de carboidratos oriundos da parte aérea, via floema, o torna um forte dreno. Em contraste, o crescimento da parte aérea é dependente de água e dos nutrientes absorvidos do solo pelas raízes (Farrar e Jones, 2000). Portanto, o sistema radicular e a parte aérea da planta estão intimamente relacionados e exercem grande influência um sobre o outro.

Ensaio com restrição do crescimento do sistema radicular têm demonstrado que, nesta condição, o crescimento da parte aérea é reduzido, ou seja, as plantas apresentam menores valores de biomassa, área foliar e número de folhas, sendo tais inibições mais pronunciadas durante o estágio vegetativo (Carmi e Shalhevet., 1983). Podem ocorrer efeitos sobre a partição e acúmulo de biomassa, fotossíntese, conteúdo de clorofila, relações hídricas, absorção de nutrientes, respiração e florescimento. Porém, os resultados são conflitantes, pois se observa diferentes respostas entre as espécies estudadas (NeSmith e Durval, 1998).

Os efeitos da restrição do crescimento do sistema radicular sobre a fotossíntese ainda são pouco conhecidos e variam entre espécies, intensidade e tempo de duração. Por exemplo, nas espécies *Capsicum annum*, *Curcubita pepo* e *Salvia splendens* verificou-se redução da taxa fotossintética em função do confinamento do sistema radicular, no entanto nenhuma redução foi observada em *Glicine max* (NeSmith e Durval, 1998).

Tem sido observado acúmulo de carboidratos não estruturais em plantas mantidas sob restrição do crescimento radicular (Takashi e Saito, 1998). Este acúmulo tem sido relacionado ao desbalanço entre o suprimento e o consumo de carboidratos (Siska, 1998). Sugere-se que a força de dreno da raiz estaria

reduzida em função da inibição do crescimento, o que causaria queda na exportação da sacarose sintetizada nas folhas. Este efeito tem sido relacionado à inibição da fotossíntese, pois acredita-se que o acúmulo de carboidratos nas folhas, resultado da maior produção em relação ao consumo, promoveria uma regulação por *feedback* e estimularia a regulação gênica da enzima Rubisco (Siska, 1998; Sato et al., 2001). Todavia, nem sempre o acúmulo de carboidratos é o fator responsável pela queda na atividade fotossintética (Carmi e Shalhevet, 1983; Will e Teskey, 1997). Will e Teskey (1997) verificaram redução da fotossíntese líquida em mudas de *Pinus taeda* sob restrição do crescimento da raiz, atribuindo o resultado à redução do potencial hídrico da planta e não ao acúmulo de amido no cloroplasto.

A redução da condutância estomática em função da inibição da absorção de água pela raiz tem sido sugerida como fator responsável pela redução da fotossíntese observada em alguns casos. No entanto, a queda da condutância estomática não pode ser considerada como única causa do decréscimo da fotossíntese. Kharkina et al. (1999) verificaram redução da fotossíntese em *Cucumis sativus* L. cv. Athene F1, em plantas sob restrição do crescimento do sistema radicular. Embora as plantas tenham sido cultivadas em solução nutritiva foram verificados sintomas semelhantes àqueles oriundos de deficiência hídrica, como redução da condutância estomática. De acordo com os autores fatores como hipoxia e hormônios podem ter contribuído para os sintomas de deficiência hídrica observados, mesmo quando com disponibilidade de água.

Os efeitos se estendem para além das variações na morfologia externa, alterando também toda a fisiologia da planta. Estudando o efeito da compactação do solo sobre milho (*Zea mays* L., cv. Dea), Tubeileh et al. (2003) observaram decréscimo da biomassa da raiz e da parte aérea, redução do número de folhas visíveis, altura da planta e área foliar, além de aumento da exsudação de carboidratos para a rizosfera. As condições existentes num solo compactado podem ser consideradas semelhantes às de uma condição de restrição do crescimento do sistema radicular, sobretudo, pela redução no crescimento da planta como um todo, no entanto, as causas desta redução podem ter diferentes origens. Enquanto na restrição do crescimento do sistema radicular em recipientes os autores atribuem os resultados a fatores hormonais (Carmi e

Shalhevet, 1983) ou às deficiências hídricas ou nutricionais (Dubik et al., 1990), no solo compactado a hipoxia é o fator considerado mais relevante.

Há um controle compartilhado entre parte aérea e raiz em relação ao crescimento. Segundo Farrar e Jones (2000), moléculas presentes nos fluxos do xilema e do floema sinalizam o *status* de açúcares e nitrogênio entre parte aérea e raiz (e vice-versa), observando-se que tipicamente sob altas concentrações de açúcares os genes da fotossíntese são inibidos, enquanto os genes do metabolismo dos drenos são estimulados.

Segundo Kharkina et al. (1999), as respostas à restrição do crescimento da raiz são muito específicas em suas causas e conseqüências comparadas com as respostas de outros fatores estressantes. Além disso, a duração e a severidade da restrição são fatores significativos para o estudo do assunto, assim como as características específicas de cada planta.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido a céu aberto na área da Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP) do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada na cidade de Campos dos Goytacazes – RJ (21° 44' 47" Sul; 41° 18' 24" Oeste; altitude 12 m do nível do mar) no período de novembro de 2006 a maio de 2007.

Segundo o sistema Koppen, o clima da região é classificado como Aw, ou seja, quente e úmido, com temperaturas superiores a 18°C no mês mais frio. O verão é chuvoso, com temperatura média anual em torno de 24°C. A amplitude térmica anual é pequena com temperaturas médias variando de 21°C a 27°C. A precipitação anual média é de 1023mm (Gomes, 1999). Os dados climáticos referentes ao período experimental encontram-se no apêndice (Figura 1A a 5A).

#### 3.2 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 5. O fator “nível de confinamento do sistema radicular” (NC) foi composto pelo cultivo das plantas em vasos de 42, 11, 6, 1,5 e 0,5 L. Foi plantado um perfilho por vaso. O fator “tempo de confinamento do sistema radicular” (TC) foi composto por 5 períodos de avaliação ocorridos aos 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o

plântio. Foram utilizadas 5 repetições por tratamento. Foram realizados testes preliminares de normalidade e homogeneidade de variância dos dados originais antes destes serem submetidos a ANAVA. Ao verificar-se significância de F procedia-se à realização de análises de regressão. As equações representativas dos resultados foram selecionadas de acordo com a significância, adequação aos valores reais e valores de coeficientes de determinação. Estas equações foram utilizadas para confecção dos gráficos para demonstração dos resultados.

### 3.3 Material Biológico

O substrato utilizado foi composto de solo, areia e esterco bovino curtido na proporção 1:1:1. De acordo com a análise física do substrato, este era composto por 70% de areia (260 g kg<sup>-1</sup> grande, 290 g kg<sup>-1</sup> média, 150 g kg<sup>-1</sup> fina), 130 g kg<sup>-1</sup> de silte e 170 g kg<sup>-1</sup> de argila. A análise química do substrato indicou os seguintes valores: pH 6,6, N 2,3 g kg<sup>-1</sup>, P 165 mg/dm<sup>3</sup>, K 960 mg/dm<sup>3</sup>, Ca 3,6 cmol/dm<sup>3</sup>, Mg 3,3 cmol/dm<sup>3</sup>, Al 0,0, H+Al 2,2 cmol/dm<sup>3</sup>, Na 0,33 cmol/dm<sup>3</sup>, carbono 1,89%, matéria orgânica 32,6 g/dm<sup>3</sup>, soma de bases 9,7 cmol/dm<sup>3</sup>, T 11,9 cmol/dm<sup>3</sup>, t 9,7 cmol/dm<sup>3</sup>, m 0%, saturação de bases (V) 81%, ferro 42,0 mg/dm<sup>3</sup>, cobre 0,8 mg/dm<sup>3</sup>, zinco 5,3 mg/dm<sup>3</sup>, manganês 31,8 mg/dm<sup>3</sup>, enxofre 23,9 mg/dm<sup>3</sup>, boro 0,41 mg/dm<sup>3</sup>.

As mudas de *Cymbopogon citratus* foram obtidas por divisão de touceiras a partir de planta matriz da coleção de plantas medicinais da UAP. Estas foram cortadas para que todas apresentassem 30 cm de altura a partir da base. Durante o período experimental as plantas foram molhadas diariamente visando a constante umidade do solo, mantendo-o em torno de 80% da capacidade de campo.

### 3.4 Análise do Crescimento

As plantas foram colhidas nos períodos previamente citados. As colheitas foram realizadas sempre pela manhã. Toda a parte aérea foi cortada e em seguida pesada. Após pesagem foram contados os perfilhos, as folhas foram cortadas na base da bainha e foram submetidas à mensuração da área foliar por meio de medidor de área foliar Li 3100 (Li-Cor, USA). Em seguida toda a parte

aérea foi acondicionada em sacos de papel para posterior secagem. A secagem artificial foi realizada em estufa com circulação forçada de ar a 40°C. Para avaliação do crescimento do sistema radicular, o volume do solo de cada tratamento foi dividido em frações de 1/16 (42L), 1/8 (11, 6 e 1,5 L) e 1/4 (0,5 L) do volume. As raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente utilizando-se peneiras de 2 mm. Após a lavagem as raízes foram levadas para secagem a 40°C em estufa com circulação forçada de ar para obtenção da matéria seca.

### 3.5 Análise das Trocas Gasosas e Rendimento Máximo do Fotossistema II

A cada 30 dias, a partir dos 60 DAP, foram avaliadas a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração, através do aparelho de análise de gás com infra-vermelho modelo LI 6200 (Li-Cor, USA), utilizando-se fonte de luz externa ( $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), emitida através de um conjunto de LEDs (Light Emitting Diode). Para as análises foi utilizada a terceira folha do perfilho principal, sendo assim considerado aquele de maior diâmetro. Foi avaliada também a fluorescência da clorofila a, para determinação da eficiência fotoquímica ( $F_v/F_m$ ), através de fluorímetro – PEA (Plant Efficiency Analyser – Hansatech - UK). As avaliações foram realizadas sempre pela manhã (8:00 h)

### 3.6 Determinação do Teor de Óleo Essencial

Para a extração do óleo essencial foi utilizada toda a matéria seca da parte aérea, cujo processo de secagem está descrito no item 3.4. Para extração do óleo essencial utilizou-se a técnica de hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger. O tempo de extração foi de 2 horas contadas a partir do início do acúmulo do hidrolato (óleo + água) no tubo coletor. Após o término da extração a fase oleosa (óleo essencial) formada na porção superior do tubo coletor foi recolhida com pipeta graduada. A umidade foi retirada com sulfato de sódio anidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) e em seguida o óleo foi pesado. Após a pesagem, este foi armazenado em frasco de vidro e mantido em *freezer* (-18°C) até a realização da análise cromatográfica. O teor de óleo essencial foi calculado através da fórmula:

$$\text{Teor do óleo essencial (\%)} = \frac{\text{óleo essencial extraído (g)} \times 100}{\text{material vegetal utilizado para extração(g)}}$$

A matéria seca produzida por plantas crescidas em vasos de 1,5 L não foi suficiente para extração de óleo essencial por meio da técnica descrita acima, deste modo tais plantas não foram incluídas nesta análise.

### 3.7 Determinação do Teor de Citral

A análise química do óleo essencial de capim-limão foi realizada em cromatógrafo a gás acoplado a espectrômetro de massas (Shimatzu 17A). Para a quantificação do citral utilizou-se calibração externa. Concentrações de 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100  $\mu\text{L mL}^{-1}$  do padrão citral – mistura de isômeros neral e geranial (Sigma Aldrich<sup>®</sup>), diluído em hexano, foram submetidas à cromatografia gasosa sob as seguintes condições: coluna capilar DB5 de 30 m e 0,25 mm de diâmetro interno, temperatura do injetor 200°C, temperatura inicial da coluna de 50 °C, temperatura final da coluna 230 °C, taxa de 15 °C/ minuto, pressão inicial 87,5 KPa, pressão final 171 KPa, taxa 7 KPa/minuto, temperatura do detector 230 °C, razão de split 1:20, *solvent cut* de 3 minutos.

Utilizando-se a correspondência entre a concentração injetada e a área do pico cromatográfico (somatório das áreas dos picos obtidos para os compostos neral e geranial) foi obtida a seguinte equação:

$$y = 14466x + 10929$$

A partir desta equação foram calculadas as concentrações de citral nas amostras de óleo essencial. Por meio da divisão da concentração de citral pela concentração do óleo essencial analisado e a posterior multiplicação do resultado por 100, obteve-se o teor de citral.

#### 4. RESULTADOS

Observou-se que houve efeito dos tratamentos, ou seja, interação entre NC (nível de confinamento do sistema radicular) e TC (tempo de confinamento do sistema radicular) sobre o número de perfilhos (Pe), área foliar (Af), matéria seca da parte aérea (MSPa), matéria seca da raiz (MSR) e razão parte aérea/raiz (Pa/R) de capim-limão (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5).

Plantas crescidas em vasos de 0,5 L não apresentaram variação do número de perfilhos ao longo do período de avaliação (180 dias), mantendo 1 perfilho por planta (Figura 1).

Aos 60 dias após o plantio (60 DAP), o número médio de perfilhos por planta em vasos de 1,5 L era de, aproximadamente, 4. Plantas crescidas em vasos de 6, 11 e 42 L apresentaram de 8 a 10 perfilhos (Figura 1).

O efeito do NC foi observado a partir dos 90 DAP. Plantas crescidas em vasos de 1,5 L, 6 L e 11 L mantiveram, estatisticamente, número médio de perfilhos verificados aos 60 DAP, enquanto plantas crescidas em vasos de 42 L apresentaram incremento em número de perfilhos. Entre 60 e 90 DAP o número de perfilhos de plantas crescidas em vasos de 42 L foi, aproximadamente, 5 vezes maior ( $43,0 \pm 1,70$ ) do que o verificado na primeira avaliação (60 DAP). Porém, após 90 DAP, em plantas crescidas em vasos de 42 L pôde-se observar redução da intensidade de incremento de perfilhos, com aumento de apenas 20% em relação ao valor observado aos 90 DAP (Figura 1).

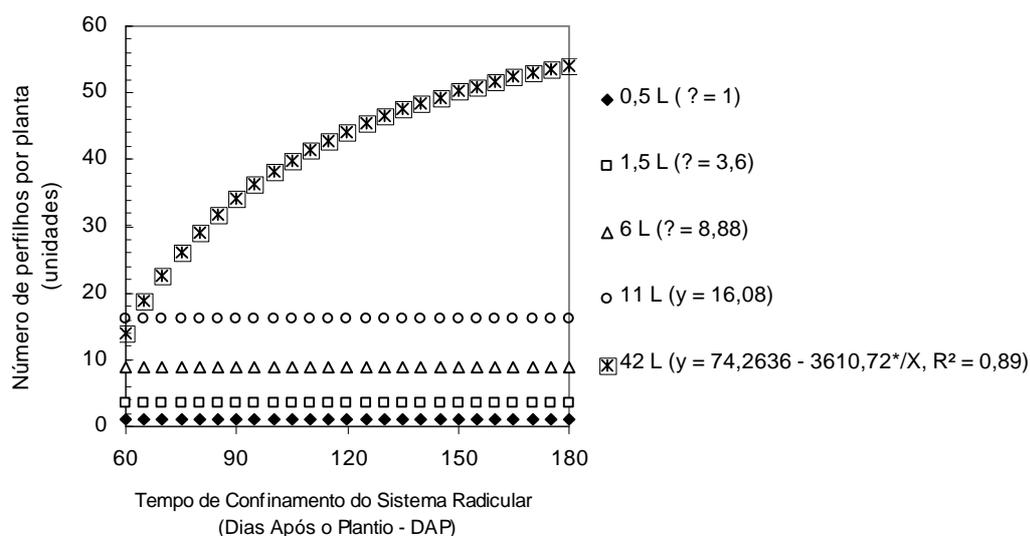


Figura 1: Número de perfilhos por planta (unidade). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

Aos 60 DAP não foi verificada diferença na área foliar por planta entre níveis de confinamento do sistema radicular, sendo a média de  $0,08 \text{ m}^2$  por planta (Figura 2). Plantas crescidas em vasos de 0,5 e 1,5 L não apresentaram variação na área foliar ao longo do período de avaliação, apresentando médias de  $0,022 \pm 0,0045$  e  $0,068 \pm 0,0130 \text{ m}^2$  por planta, respectivamente.

Verificou-se (Figura 2) que após os 60 DAP a área foliar aumentou em plantas crescidas em vasos de 6, 11 e 42 L. Ocorrendo uma relação inversa entre o aumento em área foliar por planta e o nível de confinamento do sistema radicular. Aos 180 dias de cultivo, as áreas dos volumes 0,5, 1,5, 6 e 11 L correspondiam, respectivamente, a 1%, 4%, 14% e 28% da área obtida em plantas crescidas em vasos de 42 L ( $1,84 \pm 0,114 \text{ m}^2$  por planta, em média).

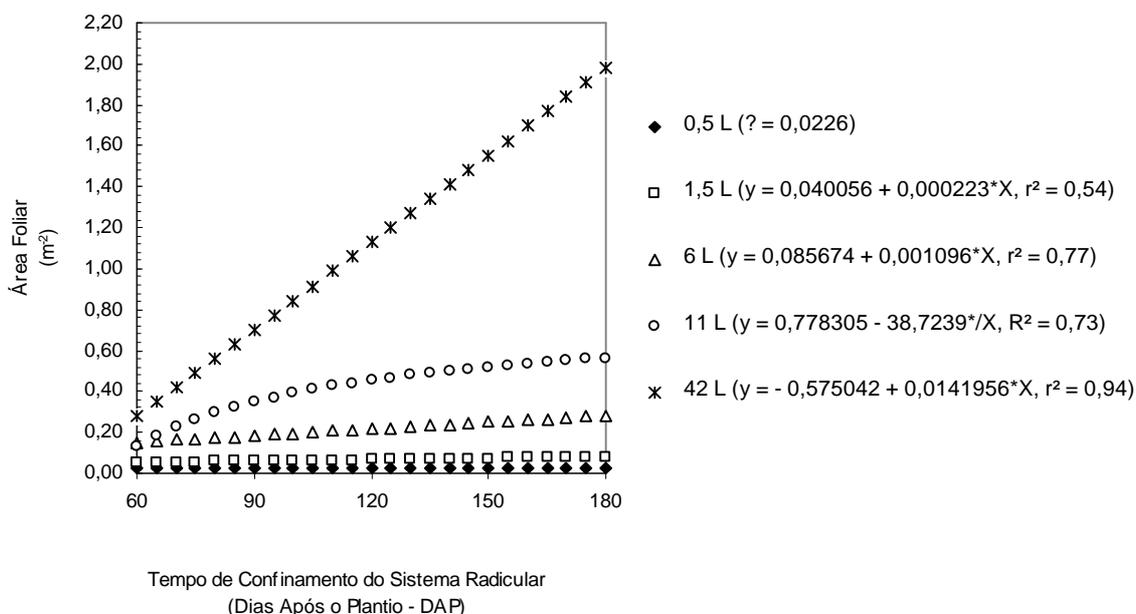


Figura 2: Área foliar (m<sup>2</sup>). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

Em relação à matéria seca da parte aérea (MSPa), observou-se que aos 60 DAP não houve efeito do nível de confinamento do sistema radicular sobre esta característica. A produção de matéria seca da parte aérea em plantas crescidas em vasos de 0,5 e 1,5 L não apresentou variação significativa em resposta ao tempo de confinamento, mantendo produção média de, respectivamente, 7,82 e 20,24 g por planta (Figura 3).

Plantas crescidas em vasos de 6 L apresentaram incremento expressivo entre os 60 e 90 DAP. Neste período a produção de matéria seca da parte aérea dessas plantas dobrou. Porém, o incremento foi menos intenso a partir deste período. Entre 90 e 120 DAP o aumento de MSPa foi de 37% e de apenas 25% entre 120 e 150 DAP. Estabilizando-se com média de 75,67 g por planta, entre os 150 e 180 DAP (Figura 3).

O confinamento imposto por vasos de 11 L permitiu incrementos de 4 vezes na produção de matéria seca da parte aérea por planta, entre os 60 e 90 DAP. Embora, após este período tenham ocorrido aumentos nos valores de matéria seca por planta, estes foram cada vez menores. Aos 180 DAP verificou-

se que houve crescimento de apenas, aproximadamente, 9% em relação ao observado aos 150 DAP (Figura 3).

Em vasos de 42 L o incremento em matéria seca da parte aérea foi crescente e linear ao longo de todo o período de avaliação. Entre 60 e 90 dias o aumento em MSPa foi de 8 vezes. Aos 60 DAP era observada média de  $17,36 \pm 5,28$ , enquanto aos 90 DAP a média foi de  $137,95 \pm 11,02$  g por planta. Ao final de 180 DAP a produção foi de  $420,82 \pm 27,69$  g planta.

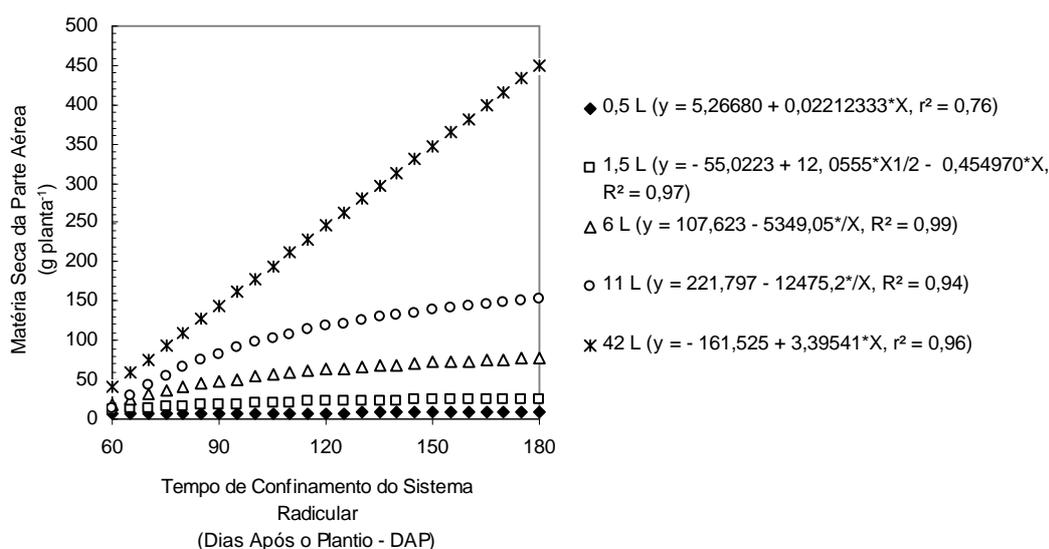


Figura 3: Matéria seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

Aos 60 e 90 DAP não se verificou diferenças entre as produções de matéria seca das raízes entre os níveis de confinamento estudados, tendo-se em média 3,3420 e 15,1186 g de matéria seca da raiz por planta, respectivamente. Apenas a partir dos 120 DAP foi possível observar efeito do confinamento da raiz sobre a produção de matéria seca das raízes. É importante observar que plantas crescidas em vasos de 0,5 e 1,5 L apresentam aumento da matéria seca da raiz, ainda que o crescimento dessas tenha ocorrido em ritmo menos intenso quando comparado aos demais níveis de confinamento (Figura 4).

Plantas crescidas em vasos de 6 L apresentaram estabilização na produção de matéria seca das raízes após 150 DAP, com média de 0,27 g de matéria seca da raiz por planta até o final do experimento. Enquanto plantas crescidas em vasos de 11 e 42 L apresentaram expressivos incrementos na matéria seca das raízes. Ao final de 180 DAP, o aumento de matéria seca das raízes em plantas crescidas em vasos de 11 L foi de 5 vezes, e em vasos de 42 L o incremento foi de 18,4 vezes (Figura 4).

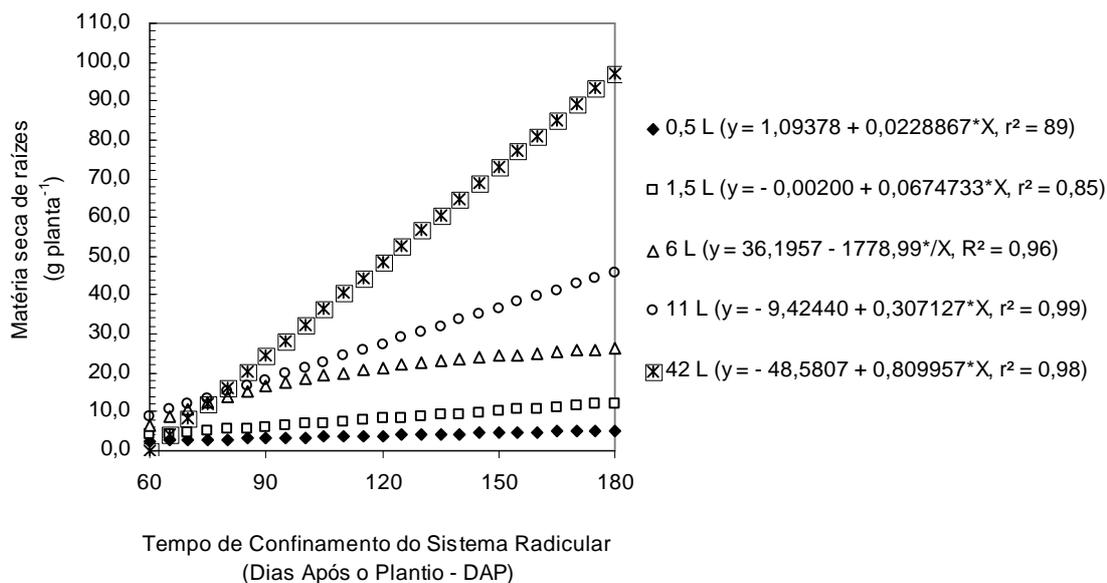


Figura 4: Matéria seca das raízes (g planta<sup>-1</sup>). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

A razão parte aérea/raiz (Pa/R) foi influenciada negativamente pelos tratamentos. Já aos 60 dias verificou-se diferença de Pa/R entre os níveis de confinamento estudados (Figura 5). A razão Pa/R decresceu conforme aumento no nível e tempo de confinamento do sistema radicular. Tal redução é mais acentuada em plantas crescidas em vasos de 42 L, as quais apresentaram razão média de 11,43 aos 60 DAP, chegando à 4,17 aos 180 DAP, uma redução de 64%.

Em vasos de 6 L e 11 L as plantas apresentaram razão Pa/R sem variações significativas, mantendo médias de 3,14 e 4,18, respectivamente, durante todo o período de avaliação. Plantas crescidas em vasos de 0,5 e 1,5 L, aos 60 DAP, apresentaram razões médias de  $4,99(\pm 1,60)$  e  $3,24(\pm 0,16)$ , respectivamente. Ao final do período experimental as médias foram de 1,73 e 2,09, respectivamente.

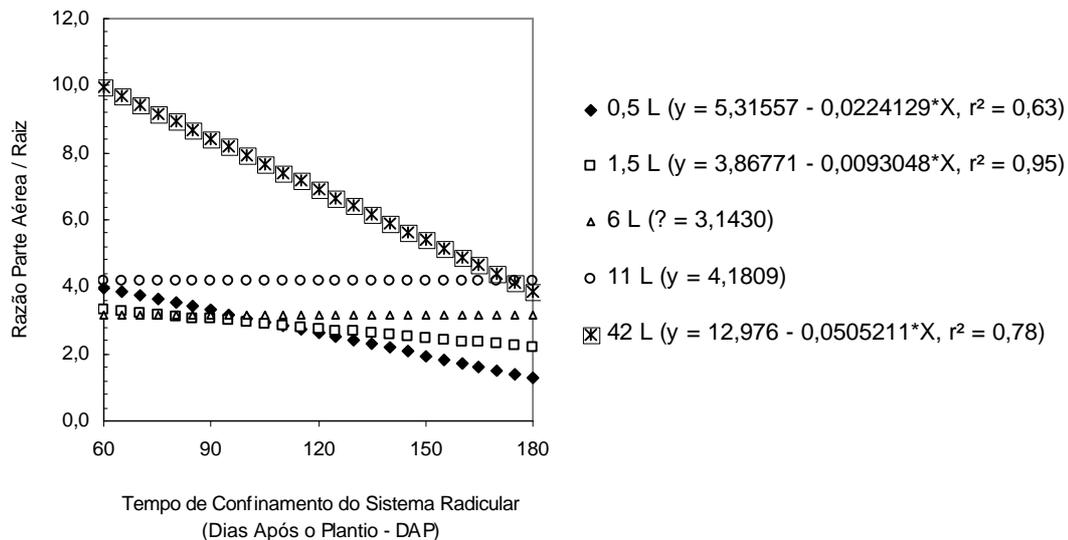


Figura 5: Razão parte aérea/raiz. Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

As características: taxa transpiratória, condutância estomática e fotossíntese foram negativamente influenciadas pelo “tempo de confinamento do sistema radicular” (Figuras 6, 7 e 8). Os níveis de confinamento não influenciaram tais características. O rendimento quântico máximo do fotossistema II foi influenciado pelos fatores isoladamente, e não por suas interações (Figura 9).

A taxa transpiratória em plantas crescidas em vasos de 11 e 42 L não apresentou variação durante o período experimental, mantendo médias de 4,528 e 5,128  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, enquanto os demais níveis de confinamento apresentaram redução de aproximadamente 31%, com média de

5,655±0,334 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, aos 60 DAP e 3,89±0,29 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, aos 180 DAP (Figura 6). A condutância estomática (gs) apresentou redução de, aproximadamente, 46% em plantas crescidas nos vasos de 11, 6, 1,5 e 0,5 L. Em plantas crescidas nos vasos de 42 L, a gs média foi de 0,21234 μmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figura 7).

Nos volumes de vasos inferiores a 42 L a taxa fotossintética diminuiu em aproximadamente 50% entre 60 e 180 DAP, com médias de 18,51 e 9,18 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 8).

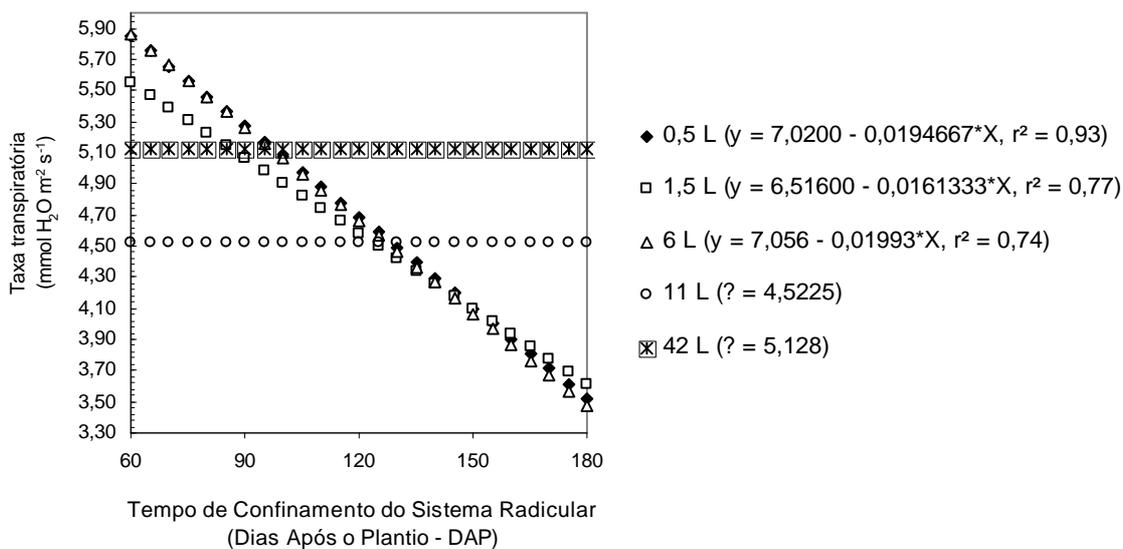


Figura 6: Taxa transpiratória (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

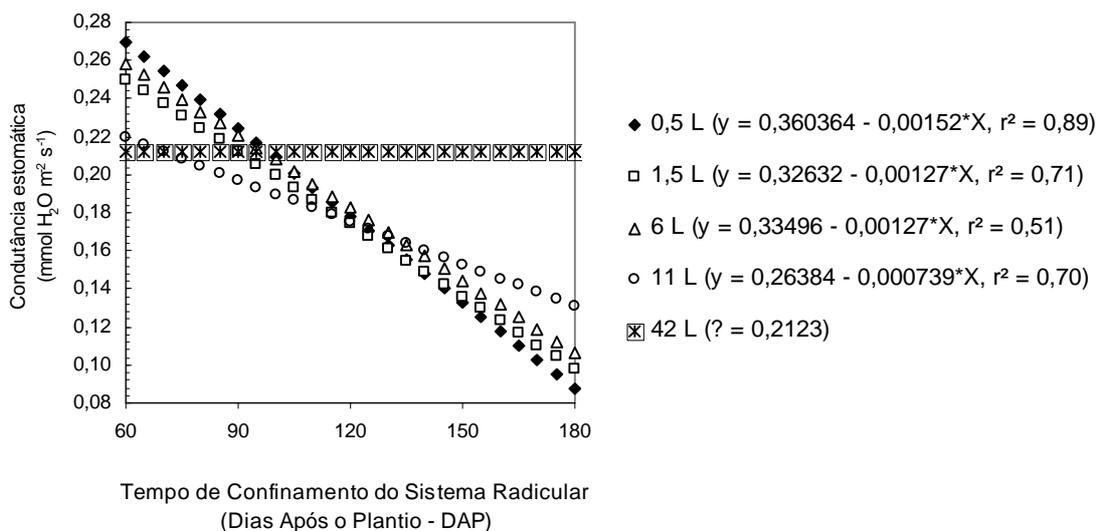


Figura 7: Condutância estomática ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

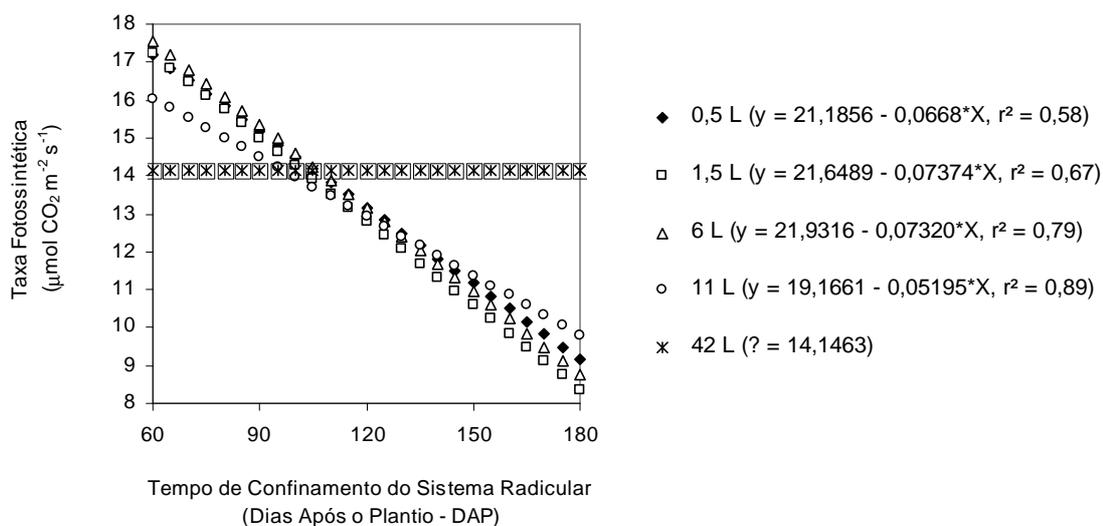


Figura 8: Taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

O rendimento quântico máximo do fotossistema II não diferiu entre níveis de confinamento aos 60 e 90 DAP (Figura 9). Nestes períodos de avaliação as médias foram de, respectivamente, 0,763 e 0,771. Porém, a partir de 120 DAP observou-se que o confinamento do sistema radicular influenciou negativamente sobre Fv/Fm. Aos 180 DAP plantas crescidas em vasos de 42 L apresentavam rendimento, em média 6% superior aos demais volumes. Enquanto a diferença entre estes era de 3%.

O tempo de confinamento também contribuiu para redução da característica (Figura 10). Exceto plantas crescidas em volume de 42 L, que mantiveram média de 0,7690, Fv/Fm decresceu 3%, 8%, 7% e 5%, respectivamente, para os volumes de vasos de 0,5, 1,5, 6 e 11 L.

Verificou-se que plantas crescidas em vasos de 42 L não apresentaram variação significativa das características fisiológicas avaliadas em função do tempo. Os valores médios da taxa de transpiração, condutância estomática e fotossíntese, foram, respectivamente, 5,128 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 0,2123 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 14 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figuras 6, 7, 8, 9 e 10).

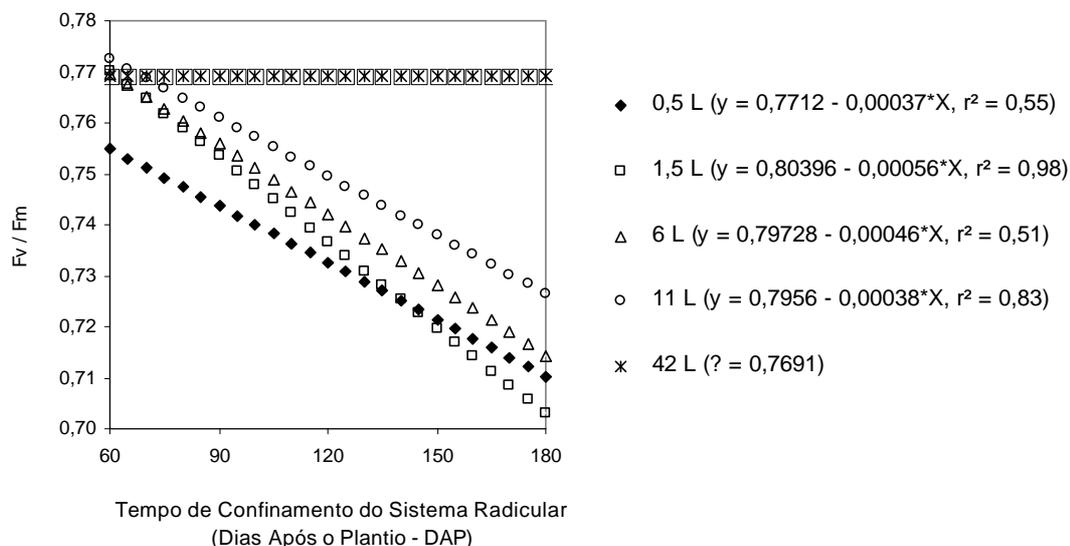


Figura 9: Rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv / Fm) em função do tempo de confinamento do sistema radicular (DAP). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

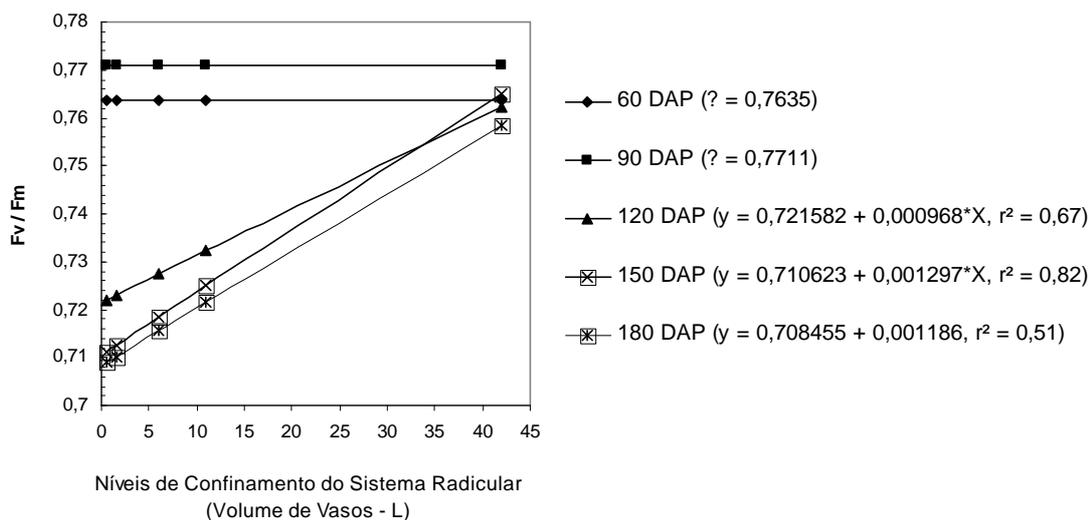


Figura 10: Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v / F_m$ ) em função do nível de confinamento do sistema radicular (volume de vasos - L). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

Houve efeito dos tratamentos sobre o teor de óleos essenciais. O tempo de confinamento não influenciou esta variável em plantas crescidas em vasos de 1,5 e 6 L (Figura 10).

O teor em plantas crescidas em vasos de 1,5 L foi, aproximadamente, 60% menor do que o teor médio observado em plantas crescidas em vasos de 6 L (0,7%). Aos 60 DAP não houve diferença entre os teores de óleos essenciais em plantas crescidas em vasos de 6, 11 e 42 L, sendo a média de produção igual à 0,65%.

Aos 90 DAP verificou-se que houve incremento no teor de óleo essencial em plantas crescidas em vasos de 11 e 42 L. Neste período de avaliação o teor médio observado foi de, respectivamente, 0,95 e 0,89%. Aos 120 DAP notou-se decréscimo nos teores de plantas crescidas nesses volumes. Em vasos de 11 L a média foi de 0,83% e em vasos de 42 L foi de 0,87%. A partir de então houve queda no teor, verificando-se aos 180 DAP, médias de 0,69 e 0,75%, respectivamente (Figura 11).

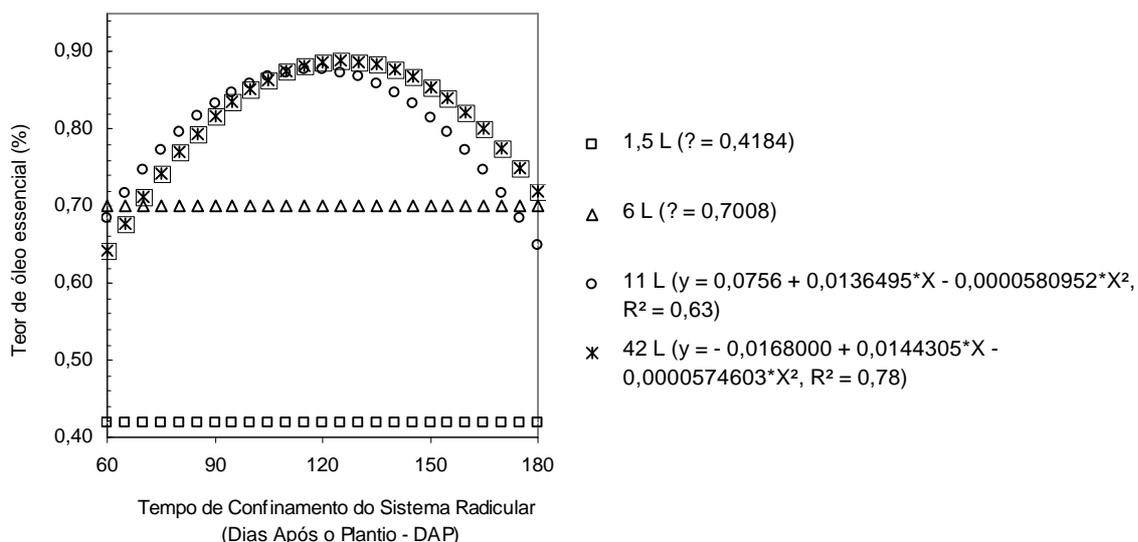


Figura 11: Teor de óleo essencial (%). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

O teor de citral foi influenciado positivamente pelo tempo de confinamento do sistema radicular. Em todos os níveis de confinamento observou-se aumento do teor de citral (Figura 12). A concentração de citral aumentou em 33%, em média, nas plantas crescidas em vasos de 1,5 L. Nessas o teor médio de citral aos 60 DAP foi 14,87% e aos 180 DAP foi de 44,08%. Enquanto em plantas crescidas em vasos de 6, 11 e 42 L o incremento médio foi de 63%.

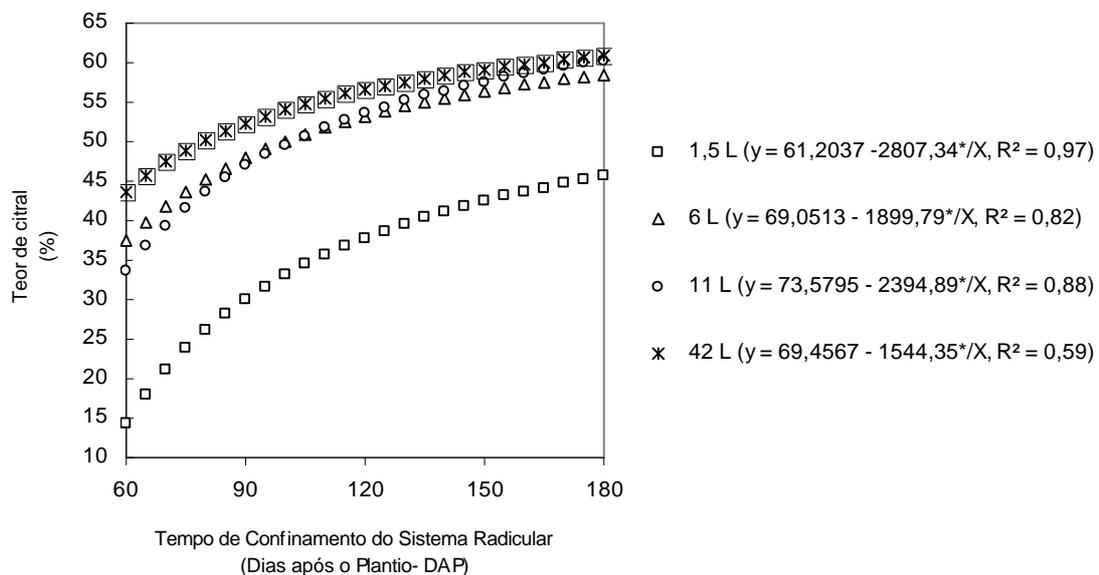


Figura 12: Teor de citral (%). Figura obtida com valores esperados a partir das equações de regressão. Coeficiente de determinação obtido a partir de valores reais e com todas as repetições. \* Significativo a 5%.

## 5. DISCUSSÃO

Este estudo demonstra claramente que o confinamento do sistema radicular (CSR) reduziu o crescimento de capim-limão em número de perfilhos, área foliar e matéria seca da parte aérea.

O resultado obtido concorda com o verificado em trigo (*Triticum* sp.), milho (*Zea mays*) e outras espécies (Tschaplinski e Blake, 1985; Masle e Passioura, 1987; Wolfe et al., 1995; Beemster et al., 1996; Lipiec, J. et al., 1996; Ishaq et al., 2001; Zhu et al., 2005). A principal consequência do reduzido crescimento da raiz é o decréscimo no crescimento da parte aérea (Campostrini e Yamanishi, 2001). A redução do crescimento da parte aérea sob CSR tem sido atribuída a diversos fatores, como desbalanço fitohormonal, deficiência na disponibilidade ou absorção de água e nutrientes e inibição da atividade fotossintética por *feedback* (Campostrini, 1997; Netto, 2001). De acordo com Edis (2001), a restrição ao crescimento da raiz limita o acesso aos nutrientes e água, sendo essa uma das condições estressantes mais importantes no campo.

A razão Pa/R indica as influências correlativas recíprocas entre a parte aérea e a raiz. O tipo e dimensão dessas influências dependem em grande parte das mudanças nas condições internas e fatores ambientais aos quais a planta está submetida (Meyer et al., 1973; Kolek e Kozinka, 1992). A maneira como o contínuo fluxo de carboidratos, nutrientes e água ocorrem entre parte aérea e raiz são decisivos para orientar incrementos em massa e volume nessas. A

coordenação entre hormônios tem importância vital para este processo (Kolek e Kozinka, 1992).

A redução da relação Pa/R verificada neste trabalho indica que houve maior investimento em aumento da matéria seca das raízes. De acordo com Rahman (1999), a redução da razão Pa/R em plantas de trigo, seria consequência do déficit hídrico. No presente trabalho houve fornecimento de água diariamente, além do uso de cobertura morta sobre o substrato para evitar perda de água. As plantas não apresentaram sintomas visuais de deficiência hídrica.

Plantas crescidas em vasos de 6 L mantiveram a razão Pa/R constante ao longo do período experimental (3,1430), indicando que o equilíbrio entre produção de matéria seca da parte aérea e da raiz pode estar situado próximo deste valor. Além disso, a razão de plantas crescidas em vasos de 11 L estabilizou-se em valores próximos e aos 180 dias a razão de plantas crescidas em vasos de 42 L também se encontrava em torno de 3 a 4.

Estes resultados indicam comportamento normal, no qual a planta após intenso crescimento da parte aérea passa a investir no crescimento do sistema radicular. Já plantas crescidas sob maiores níveis de confinamento apresentaram razões abaixo de 3.

Considerando-se a expressiva redução do crescimento da parte aérea em plantas crescidas nos vasos de 1,5 e 0,5 L, essas poderiam estar apresentando desequilíbrio em função da maior produção de matéria seca das raízes para permitir maior suprimento hídrico e/ou nutricional. Deste modo, os carboidratos oriundos da atividade fotossintética estariam sendo direcionados para o crescimento da raiz ou ajustamento osmótico. No entanto, informações com base apenas na matéria seca não são suficientes para descrever propriedades de absorção ou alterações morfológicas ou anatômicas da raiz (Bar-Tal et al., 1995).

Plantas crescidas em vasos de 42 L não apresentaram redução do crescimento da parte aérea ou radicular, de acordo com as características estudadas. A atividade fotossintética destas plantas também não foi influenciada pelo confinamento do sistema radicular, mantendo-se constante ao longo do tempo. Desta forma, estas podem ser consideradas como padrão de condição não estressante ao menos no que se refere ao crescimento.

Os níveis de confinamento do sistema radicular não apresentaram efeito estatisticamente significativo sobre as trocas gasosas. No entanto, o tempo de confinamento influenciou negativamente a transpiração, a condutância estomática e a atividade fotossintética.

Apesar de ter sido verificada redução na taxa fotossintética, o crescimento da planta, de maneira geral, apresentou incremento. Segundo Bertea et al. (2003), o mecanismo  $C_4$  permite que a planta mantenha a atividade fotossintética mesmo sob baixas pressões parciais de  $CO_2$  nos espaços intercelulares. Taxas fotossintéticas médias de aproximadamente  $15 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , estão de acordo com o observado por Herath e Ormrod (1979). Bertea et al. (2003) verificaram em plantas de *C. citratus* taxas variando de 9,01 a 23,94  $\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , de acordo com a idade da folha, primórdios e madura, respectivamente. Nas folhas velhas estes autores observaram queda na taxa fotossintética ( $9,89 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

A avaliação da razão  $F_v/F_m$  é uma forma de obter informações sobre a atividade fotoquímica da folha. Em folhas intactas e que apresentam aparato fotossintético em ótimas condições os valores encontrados estão em torno de 0,75 a 0,85. Valores abaixo destes são indicativos de que a planta encontra-se sob estresse já que danos no PSII são as primeiras manifestações de estresse na folha. A redução da razão  $F_v/F_m$  pode indicar também a adaptação da planta à condição de estresse através de redução de seu ritmo de crescimento (Maxwell e Johnson, 2000; Catunda et al., 2005).

O desbalanço fitohormonal resultante da maior biossíntese de etileno e ABA associada à inibição da síntese de citocinina pode ser responsável pelos efeitos negativos observados na fisiologia de plantas submetidas ao CSR (Campostrini, 1997). A aplicação exógena de etileno em raízes não confinadas resulta em decréscimo na taxa de alongamento e aumento no diâmetro destas. O impedimento mecânico estimula a produção de etileno em virtude do aumento da atividade da ACC sintase aumentando a concentração de ACC no tecido (Clark et al., 2003). A elevada produção de etileno estimula a senescência das folhas (Netto, 2001). Ismail e Noor (1996) citam que foi observado aumento de ácido abscísico (ABA) no fluido xilemático de girassol sob confinamento da raiz, mesmo com boa disponibilidade hídrica e nutricional. Carmi (1995) verificou aumento de ABA em feijão sob restrição do crescimento da raiz. O ABA é um fitohormônio

sinalizador de estresse ocorrido na região radicular. Sua presença nas células guardas dos estômatos dá início a uma seqüência de reações que culminam no fechamento estomático. Este fenômeno tem como função a proteção contra a perda de água e como consequência reduz as trocas gasosas. De acordo com Carmi e Staden (1983), a citocinina tem influência nos fenômenos de crescimento, pois a raiz é a principal fonte de citocinina e de fatores importantes para a síntese deste hormônio na parte aérea do vegetal.

De acordo com os resultados obtidos o confinamento do sistema radicular de capim-limão tem efeito negativo sobre o crescimento da parte aérea. As trocas gasosas das plantas foram afetadas por fator associado ao tempo de confinamento, possivelmente, de origem hormonal, embora deficiências nutricionais devam ser consideradas, uma vez que não houve suprimento extra de nutrientes durante o experimento. A redução do número de perfilhos foi o principal fator responsável pelo efeito observado, uma vez que em algumas gramíneas o crescimento ocorre por meio do perfilhamento. Peterson et al. (1984) verificaram redução do perfilhamento em trigo. Clark et al. (2003) afirmam que as respostas fisiológicas ao impedimento mecânico no tempo são muito complexas. Kharkina et al. (1990) observaram que mesmo em ensaios hidropônicos as plantas apresentam sintomas de deficiência hídrica e sugerem que quando o crescimento da raiz é altamente restrito, as deficiências internas de água não podem ser eliminadas com irrigação. Ismail e Noor (1996), estudando o efeito do confinamento da raiz em carambola (*Averrhia carambola* L.), associado ao fornecimento de água, verificaram que em condições de confinamento e boa disponibilidade hídrica houve redução do crescimento foliar, porém o efeito não estava associado à deficiência hídrica. Por outro lado, em plantas não confinadas e com deficiência hídrica o início da redução do crescimento foliar foi acompanhado de redução do potencial hídrico da folha. Krizek et al. (1985) verificaram que a restrição ao crescimento da raiz e o estresse hídrico possuem diferentes mecanismos de ação e que o impedimento do crescimento pode envolver diferentes processos fisiológicos. Em vários experimentos as disponibilidades de água e nutrientes têm sido descartadas como fatores preponderantes responsáveis pelo “nanismo” observado em plantas crescidas em condições de restrição do crescimento radicular (Peterson et al., 1984; Ismail e Davies, 1998). O efeito negativo do inadequado suprimento hídrico e/ou

nutricional pode ser resultado da interação aditiva destes sobre as respostas primárias (bioquímicas e hormonais), ocorridas em condições de restrição ao crescimento radicular.

Assim, o efeito inibidor do crescimento da planta estaria relacionado, provavelmente, à síntese de hormônios e ao metabolismo no sistema radicular (Carmi e Heuer, 1981; Sarquis et al., 1991; Bar-Tal et al., 1995).

A função de proteção contra predadores e condições ambientais desfavoráveis atribuída aos metabólitos secundários, como óleos essenciais, frequentemente induz ao conceito de que estes compostos têm sua produção estimulada sob condições de estresse (Leal, 2003).

O estresse caracteriza-se como um distúrbio do estado normal de um organismo, sendo reconhecido através de um desequilíbrio fisiológico que normalmente está associado às alterações no crescimento e desenvolvimento (Gaspar et al., 2002).

O confinamento do sistema radicular apresentou efeito negativo sobre o crescimento de capim-limão em número de perfilhos, área foliar e matéria seca da parte aérea, sendo o confinamento do sistema radicular, portanto, um fator de estresse para plantas de capim-limão. Observou-se, ainda, que as plantas como estratégia de sobrevivência reduziram seu ritmo de crescimento diante da condição desfavorável imposta.

Na figura 11 observa-se a resposta da produção de óleo essencial (teor - %) em função do tempo de confinamento. A produção de óleo essencial manteve-se em percentuais constantes nas plantas crescidas em vasos de 1,5 e 6 L ao longo do período de avaliação, enquanto, plantas crescidas em vasos de 11 e 42 L apresentaram variação na qual observou-se período de produção máxima por volta de 117 e 125 dias após o plantio, respectivamente. Considerando-se o nível de confinamento, ou seja, as diferentes intensidades de estresse promovidas através da redução do volume dos vasos, nota-se que, embora tenha sido observada redução do crescimento da parte aérea da planta em vasos de 11 L, essa condição permitiu que houvesse incremento na produção de óleo essencial, seguindo um comportamento semelhante ao observado em condições nas quais o estresse não produziu efeitos sobre o crescimento (42 L). Já plantas crescidas em vasos de 6 L apresentaram teor de óleo essencial 42% superior ao observado em plantas crescidas nos vasos de 1,5 L. Diferenças como estas, segundo, Lerdaou et

al. (1994) ocorre devido à influência da disponibilidade de fontes (recursos para manutenção do crescimento e metabolismo) sobre características genotípicas. Segundo Stamp (2003), a quantidade de metabólitos secundários (ou defesas) produzidas pelas plantas são resultantes de uma porção fixa e uma porção flexível. Ambas determinadas geneticamente, porém a porção flexível é proporcional ao crescimento da planta, podendo, portanto, responder às alterações ambientais.

Tem sido relatado que a biossíntese de óleos essenciais em *Cymbopogon* e diversas outras espécies aromáticas ocorre, principalmente, em folhas jovens no período de crescimento ativo (Sing et al., 1989; Gersehnzon, 2000). Deste modo, o aumento no teor de óleo essencial verificado em plantas crescidas em vasos de 11 e 42 L pode ter sido decorrente do intenso surgimento de perfilhos e conseqüentemente novas folhas.

O óleo essencial extraído de espécies vegetais é uma mistura de diversos compostos com características físico-químicas distintas como volatilidade, baixa solubilidade em água e odor específico. O óleo essencial de capim-limão possui citral como composto majoritário.

Além das alterações no teor de óleos essenciais podem ocorrer modificações também na concentração de compostos específicos. Na figura 12, verifica-se que, de modo geral, o teor de citral no óleo essencial de capim-limão apresenta aumento com tendência à estabilização durante o período de avaliação, independente do nível de confinamento. No entanto, o percentual deste no óleo essencial de plantas crescidas em vasos de 1,5 L foi menor quando comparado aos percentuais obtidos nos demais volumes, que se mantiveram semelhantes.

Em folhas de *Cymbopogon flexuosus* o percentual de citral atinge o máximo aos 20 dias e posteriormente permanece constante. Tem sido reportada a atividade da enzima geraniol desidrogenase, responsável pela formação do citral, mesmo nos últimos estádios de crescimento e desenvolvimento das plantas. Diversas espécies apresentam variações na composição do óleo essencial em função da ontogenia (Sangwan et al., 2001).

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Capim-limão é uma gramínea aromática, cujo óleo essencial, rico em citral, tem grande importância econômica em função do característico aroma de limão, que permite seu uso como aromatizante e flavorizante nas indústrias alimentícias, de cosméticos, produtos de limpeza e higiene pessoal. Óleos essenciais não são considerados vitais para plantas, porém possuem importantes funções ecológicas e de proteção. Acredita-se que condições de estresse resultem em aumento da produção de óleos essenciais. O confinamento do sistema radicular pode ocorrer em condições de compactação do solo, irrigação localizada, plantio adensado e cultivo em recipientes. Sob tal condição as plantas apresentam crescimento reduzido, caracterizado por redução de biomassa e área foliar. Características fisiológicas, como a atividade fotossintética, podem ou não ser influenciadas pelo confinamento, havendo variações de resposta entre as espécies. Acredita-se que fatores hormonais sejam os principais causadores dos efeitos observados. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do confinamento do sistema radicular sobre o crescimento, trocas gasosas, teores de óleo essencial e citral em capim-limão. Utilizou-se o plantio em vasos como meio de confinamento do sistema radicular. Capim-limão foi cultivado em vasos de 0,5; 1,5; 6; 11 e 42 L durante 180 dias. Mensalmente foram avaliados o crescimento (número de perfilhos, área foliar, biomassa aérea e radicular, razão parte aérea/raiz), trocas gasosas (transpiração, condutância estomática e taxa fotossintética), rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) e teores de óleos essenciais e citral. Verificou-

se que o confinamento do sistema radicular em associação com o tempo de confinamento resultou em inibição do crescimento da planta. Apenas o tempo de confinamento reduziu as variáveis de trocas gasosas. O teor de óleos essenciais manteve-se constante em plantas crescidas em vasos de 1,5 e 6 L, em função do tempo de confinamento do sistema radicular, sendo o teor neste último superior ao primeiro, enquanto em plantas crescidas nos vasos de 11 e 42 L apresentaram resposta quadrática com produções máximas em torno dos 117 e 125 dias após o plantio, respectivamente. Em função dos efeitos sobre o crescimento e trocas gasosas, pode-se concluir que o confinamento do sistema radicular constituiu-se em fator de estresse para o capim-limão. A restrição do crescimento da planta afetou negativamente a produção de óleos essenciais. O teor de citral nas plantas manteve-se com resposta semelhante em função do tempo de confinamento do sistema radicular, apresentando aumento inicial e posterior estabilização. Os resultados quanto ao teor de óleo essencial indicam que para a espécie estudada pode existir uma programação genética de biossíntese de óleo essencial em um nível básico que acompanharia o crescimento da planta e conforme o desaparecimento da condição de estresse seria possível a manifestação dos efeitos de outros fatores exógenos e/ou endógenos permitindo a variação no teor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, D., Francischini, A. C., Pergo, E. M., Kelmer-Bracht, A. M., Ishii-Iwamoto, E. (2003) Effects of  $\alpha$ -pinene on the mitochondrial respiration of maize seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 41:985-991.
- Bar-Tal, A., Feigin, A., Sheinfeld, S., Rosenberg, R., Sternbaum, B., Rylski, I., Pressman, E. (1995) Root restriction and N-NO<sub>3</sub> solution concentration effects on nutrient uptake, transpiration and dry matter production of tomato. *Scientia Horticulturae*, 63:195-208.
- Beemster, G. T. S., Masle, J.; Williamson, R.; Farquhar, G. D. (1996) Effects of soil resistance to root penetration on leaf expansion in wheat (*Triticum aestivum* L.): kinematic analysis of leaf elongation. *Journal of Experimental Botany*, 47(304): 1663-1678.
- Bertea, C. M., Tesio, M., D'Agostino, G., Buffa, G., Camusso, W., Bossi, S., Mucciarelli, M., Scannerini, S., Maffei, M. (2003) The C<sub>4</sub> biochemical pathway, and the anatomy of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf) cultivated in temperate climates. *Plant Biosystems* 137(2): 175-184.
- Bohlmann, J., Meyer-Gauen, G., Croteau, R. (1998) Plant terpenoid synthases: molecular biology and phylogenetic analysis. *Proceedings of the National Academy of Science of USA* 95:4126-4133.
- Bourgaud, F.; Gravot, A.; Mileti, S.; Gontier, E. (2001) Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant Science* 161:839-851.

- Budavani, S. O'Neil, M. J.; Smith, A.; Heckelman, P. E.; Kinneary, J.F. (ed.) (1996) The Merck Index – an encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. New Jersey: *Merck Research Laboratories*. 1741p.
- Burfield, T.; Reekie, S. L. (2005) Mosquitoes, malaria and essential oils. *The International Journal of Aromatherapy* 15:30-41.
- Campostrini, E. (1997) Comportamento de quatro genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) sob restrição mecânica ao crescimento radicular. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 166p.
- Campostrini, E., Yamanishi, O. K. (2001) Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes. *Revista Brasileira de Fisiologia* 13(2): 129-138.
- Carlson, L. H. C., Machado, R. A. F., Spricigo, C. B., Pereira, L. K., Bolzan, A. (2001) Extraction of lemongrass essential oil with dense carbon dioxide. *Journal of Supercritical Fluids* 21:33-39.
- Carmi, A. (1995) Growth, water transport and transpiration in root-restricted plants of bean, and their relation to abscisic acid accumulation. *Plant Science* 107: 69-76.
- Carmi, A., Heuer, B. (1981) The role of roots in control of bean shoot growth. *Annals of Botany* 48: 519- 527.
- Carmi, A., Shalhevet, J. (1983) Root effects on cotton growth and yield. *Crop Science* 23:875-878.
- Carmi, A., Staden, J. (1983) Role of roots in regulating the growth rate and cytokinin content in leaves. *Plant Physiology*, 73: 76-78.
- Castro, L. O. de, Ramos, R. L. D. (2003) *Principais gramíneas produtoras de óleos essenciais*. Boletim FEPAGRO 11. 31p.
- Catunda, M. G.; Freitas, S. P.; Oliveira, J. G.; Silva, C. M. M. (2005) Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comosus*). *Planta daninha* 23(10): 115-121.
- Clark, L. J., Whalley, W. R., Barraclough, H. P. B. (2003) How do roots penetrate strong soil? *Plant and Soil* 225: 93-104, 2003.
- Dall'Agnol, L., Bergel, R. (2002) *Manual de qualificação de fornecedores de plantas medicinais, aromáticas e condimentares*. Curitiba: Herbarium Laboratório Botânico, 56p.

- Dubik, S. P., Krizek, D. T., Stimart, D. P. (1990) Influence of root zone restriction on mineral element concentration, water potential, chlorophyll concentration and partitioning of assimilate in spreading euonymus (*E. kiautschovica* LOES 'sieboldiana'). *Journal of Plant Nutrition* 13(6):677-699.
- Edis, R. (2001) Other soil constraints on net primary production. *NEE Workshop Proceedings*: 18-20.
- El Tamer, M. K. (2005) Molecular regulation of plant monoterpene biosynthesis in relation to fragrance; <http://www.gcw.nl/dissertations/3314/dis3314.pdf> em 31/03/2005.
- Farrar, J. F.; Jones, D. L. (2000) The control of carbon acquisition by roots. *New Phytologist* 147:43-53.
- Fatima, S., Farooqui, A. H. A., Sharma, S. (2002) Physiological and metabolic responses of different genotypes *Cymbopogon martinii* and *C. winterianus* to water stress. *Plant Growth Regulation*, 37: 143-149.
- Freitas, F.P de. (2005) Atividade biológica de plantas medicinais sobre *Aedes aegypti*. Monografia. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 86p.
- Garcia, I. P., Marques, M. C., Silva, V. T. de A. (1999) Plantas Medicinais – mercado desorganizado, mas promissor. *Agrianual*, 52-56.
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausmam, J. F., Dommes, J. (2002) Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue culture. *Plant Growth Regulation* 37:263-285.
- Gazola, R., Machado, D., Ruggiero, C., Singi, G., Alexandre, M. M. (2004) *Lippia alba*, *Melissa officinalis* and *Cymbopogon citratus*: effect of the aqueous extracts on the isolated hearts of rats. *Pharmacological Research* 50:477-480.
- Gershenzon, J., McConkey, M. E., Croteau, R. B. (2000) Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint. *Plant Physiology* 122:205-213.
- Gomes, E. C., Negrelle, R. R. B. (2003) *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf: aspectos botânicos e ecológicos. *Visão Acadêmica* 4(2): 137-144.
- Hadacek, F. (2002) Secondary metabolites as plant traits: current assessment and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(4):273-322.
- Herath, H. M. W., Ormrod, D. P. Photosynthetic ratio of citronella and lemongrass. *Plant Physiology* 63: 406-408.

- Ishaq, M., Ibrahim, M., Hassan, A., Saeed, M., Lal, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. *Soil e Tillage Research* 60:153 – 161.
- Ismail, M. R.; Davies, W. J. (1998) Root restriction affects leaf growth and stomatal response: the role of xylem sap ABA. *Scientia Horticulturae*, 74: 257-268.
- Ismail, M. R., Noor, K. M. (1996) Growth, water relations and physiological process of starfruit (*Averrhia carambola* L.) plants under root growth restriction. *Scientia Horticulturae* 66: 51-58.
- Kesselmeier, J., Staudt, M. (1999) Biogenic volatile organic compounds (VOC): an overview of emission, physiology and ecology. *Journal of Atmospheric Chemistry* 33:23-88.
- Kharkina, T. G., Ottosen, C. O., Rosenqvist, E. (1999) Effects of root restriction on the growth and physiology of cucumber plants. *Physiologia Plantarum* 105: 434-441.
- Kolek, J., Kozinka, V. (1992) Physiology of the plant root system. Netherlands: Kluwer Academic, 380p.
- Krizek, D. T., Carmi, A., Mirecki, R. M., Synder, F. W., Bunce, J. A. (1985) Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological response of soybean (*Glicine max* L. Meer.) *Journal of Experimental Botany* 36: 25-38.
- Leal, T. C. A. B. (1998) Produção de óleo essencial de capim cidreira (*Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf) em função de fatores endógenos e exógenos. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 64p.
- Leal, T. C. A. B.; Freitas, S. P.; Silva, J. F.; Carvalho, A. J. C. (2003) Produção de biomassa e óleo essencial em plantas de capim cidreira [*Cymbopogon citratus* (Dc.) Stapf] em diferentes idades. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s 5(2): 61-64.
- Lerdau, M., Livtak, M., Monson, R. (1994) Plant chemical defense: monoterpenes and the growth-differentiation balance hypothesis. *TREE* 9 (2): 58-61.
- Lewinsohn, E., Dudai, N., Tadmor, Y., Katzir, I., Ravid, U., Putievsky, E., Joel, D. M. (1998) Histochemical localization of citral accumulation in lemongrass leaves (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf., Poaceae). *Annals of Botany* 81:35-39.

- Lipiec, J., Ishioka, T., Szustak, A., Pietrusiewicz, J., Stepniewski, W. (1996) Effects of soil compaction and transient oxygen deficiency on growth, water use and stomatal resistance of maize. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B, Soil and Plant Science* 46: 186-191.
- Mahmoud, S. S., Croteau, R. B. (2002) Strategies for transgenic manipulation of monoterpene biosynthesis in plants – Review. *Trends in Plant Science*. Disponível em: <http://plants.trends.com> , Acesso em:17/02/05
- Martins, M. B. G., Martins, A. R., Telascrêa, M., Cavalheiro, A. J. (2004) Caracterização anatômica da folha de *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (Poaceae) e perfil químico do óleo essencial. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 6(3): 20-29.
- Masle, J., Passioura, J. B. (1987) The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. *Australian Journal of Plant Physiology* 14:643-656.
- Maxwell, K., Johnson, G. N. (2000) Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51(345): 659-668.
- Meyer, B., Anderson, D., Böhning, R., Frantiane, D. (1973) *Introdução à Fisiologia Vegetal*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 564p.
- NeSmith, D. S., Durval, J. R. (1998) The effect of container size. *Hort Technology* 8(4): 495-498.
- Netto, A. T. (2001) Ecofisiologia de plantas de *Coffea canephora* Pierre cultivadas em condições de confinamento do sistema radicular. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 89p.
- Ortiz, R. S., Marrero, G. V., Navarro A. L. T. (2002) Instructivo Técnico para el cultivo de *Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf (caña santa). *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 7(2):89-95.
- Paré, P. W., Tumlinson, J. H. (1999) Plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant Physiology* 121:325-331.
- Peterson, C. M., Klepper, B., Pumphrey, F. V., Rickman, R. W. Restricted rooting decreases tillering and growth of winter wheat. *Agronomy Journal* 76:861-863.
- Rajendrudu, G., Das, V. S. R. (1981) C<sub>4</sub> photosynthetic carbon metabolism in the leaves of aromatic tropical grasses – I. Leaf anatomy, CO<sub>2</sub> compensation point and CO<sub>2</sub> assimilation. *Photosynthesis Research* 2 (4):225-233.

- Rajeswara Rao, B. R., Kaul, P. N., Syamansundar, K. V., Ramesh, S. (2005) Chemical profiles of primary and secondary essential oils of palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats var. *motia* Burk). *Industrial Crops and Products* 21:121-127.
- Rauber, C. da S., Guterres, S. S., Schapoval, E. E. S. (2005) LC determination of citral in *Cymbopogon citratus* volatile oil. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 37:597-601.
- Reis, M. S., Mariot, A. (2001) Diversidade natural e aspectos agronômicos de plantas medicinais. In: Simões, C. M. O., Schenkel, E. P., Gosmann, G., Mello, J. C. P., Mentz, L. A., Petrovick, P. R. (2001) Farmacognosia: da planta ao medicamento. UFRGS/UFSC: Porto Alegre/Florianópolis, 41-62.
- Rodriguez-Concepción, M., Boronatto, A. (2002) Elucidation of the methylerythritol phosphate pathway for isoprenoid biosynthesis in bacteria and plastids. A metabolic milestone achieved through genomics. *Plant Physiology* 130: 1079-1089.
- Saito, M. L., Scramin, S. (2000) Plantas aromáticas e seu uso na agricultura. Jaguariúna:Embrapa Meio Ambiente 48p.
- Sangwan, N. S., Farooqi, A. H. A., Shabih, F., Sangwan, R. S. (2001) Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation* 34:3-21.
- Sarquis, J. I., Jordan, W. R., Morgan, P. W. Ethylene evolution from maize (*Zea mays* L.) seedling roots and shoots in response to mechanical impedance. *Plant Physiology* 96, 1171 – 1177, 1991.
- Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T. (2001) Effect of root volume restriction on growth and carbohydrate status of cabbage seedlings. *Environmental Control in Biology* 39(4): 235-243.
- Schaneberg, B. T., Khan, I. A. (2002) Comparison of extraction methods for marker compounds in the essential oil of lemon grass by GC. *Journal of Agricultural Foods and Chemistry* 50:1345-1349.
- Sing, N.; Rajeshluthra; Sangwan, R. S. (1989) Effect of leaf position and age on the essential oil quantity and quality in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) *Planta Medica* 55(3): 254-256.
- Siska, L. H. (1998) The influence of root zone temperature on photosynthetic acclimation to elevated carbon dioxide concentrations. *Annals of Botany*, 81:717-721.

- Stamp, N. (2003) Out of the quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly Review of Plant Biology* 78 (1): 23-55.
- Takashi, N., Saito, K. (1998) Effects of rooting volume restriction on the growth and carbohydrate concentration in tomato plants. *Journal of American Society of Horticulture Science* 123(4):581-585.
- Trapp, S. C., Croteau, R. B. (2001) Genomic organization of plant terpene synthases and molecular evolutionary implications. *Genetics* 158:811-832.
- Tscherning, K., Leihner, D. E., Hilger, T. H., Müller-Sämman, K. M., El Sharkway, M. A. (1995) Grass barriers in cassava hillside cultivation: rooting patterns and root growth dynamics. *Field Crops Research* 43:131-140.
- Tubeileh, A., Groleau-Renaud, V., Plantureux, S., Guckert, A. (2003) Effect of soil compactation on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system. *Soil e Tillage Research* 71:151-161.
- Tschaplinski, T. J., Blake, T. J. (1985) Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings. *Physiologia Plantarum* 64: 167-176.
- Will, R. E.; Teskey, R. O. (1997) Effect of elevated carbon dioxide concentration and root restriction on net photosynthesis, water relations and foliar carbohydrate status of loblolly pine seedlings. *Tree Physiology* 17:655-661.
- Wink, M. (2003) Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry* 64:3-19.
- Wolfe, D. W., Topoleski, D. T., Gundersheim, N. A., Ingall, B. A. (1995) Growth and yield sensitivity of four vegetable crops to soil compaction. *Journal of American Society of Horticultural Science* 120(6): 956-963.
- Zhu, L., Wang, S., Yang, T., Zhang, C., Xu, W. (2006) Vine growth and nitrogen metabolism of 'Fugiminori' grapevines in response to root restriction. *Scientia Horticulturae* 107: 143-149.

## APÊNDICE

Tabela 1A: Médias ( $\pm$  erro) de número de perfilhos por planta (unidade) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEL DE CONFINAMENTO (VOLUME DOS VASOS – L)	TEMPO DE CONFINAMENTO - DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00	1,00 $\pm$ 0,00
1,5	3,40 $\pm$ 0,51	3,40 $\pm$ 0,81	4,80 $\pm$ 0,37	2,60 $\pm$ 0,40	3,80 $\pm$ 0,37
6,0	8,00 $\pm$ 0,42	8,60 $\pm$ 1,21	8,60 $\pm$ 0,40	9,60 $\pm$ 0,60	9,60 $\pm$ 1,17
11,0	9,60 $\pm$ 1,60	20,00 $\pm$ 1,55	16,00 $\pm$ 1,05	18,4 $\pm$ 2,04	16,40 $\pm$ 2,09
42,0	9,60 $\pm$ 1,12	43,00 $\pm$ 1,70	46,00 $\pm$ 0,89	46,20 $\pm$ 3,48	52,00 $\pm$ 2,35

Tabela 2A: Médias ( $\pm$  erro) de área foliar por planta (m<sup>2</sup>) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS – L)	TEMPO DE CONFINAMENTO - DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	0,02 $\pm$ 0,002	0,02 $\pm$ 0,001	0,03 $\pm$ 0,002	0,02 $\pm$ 0,001	0,02 $\pm$ 0,001
1,5	0,05 $\pm$ 0,003	0,06 $\pm$ 0,008	0,08 $\pm$ 0,005	0,07 $\pm$ 0,005	0,08 $\pm$ 0,003
6,0	0,12 $\pm$ 0,022	0,20 $\pm$ 0,009	0,23 $\pm$ 0,014	0,28 $\pm$ 0,016	0,25 $\pm$ 0,023
11,0	0,11 $\pm$ 0,015	0,38 $\pm$ 0,038	0,49 $\pm$ 0,053	0,53 $\pm$ 0,030	0,51 $\pm$ 0,043
42,0	0,10 $\pm$ 0,028	0,76 $\pm$ 0,055	1,40 $\pm$ 0,038	1,54 $\pm$ 0,143	1,84 $\pm$ 0,114

Tabela 3A: Médias ( $\pm$  erro) de matéria seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS – L)	TEMPO DE CONFINAMENTO – DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	5,98 $\pm$ 0,70	7,48 $\pm$ 0,71	8,65 $\pm$ 0,44	8,13 $\pm$ 1,17	8,84 $\pm$ 0,59
1,5	11,66 $\pm$ 0,76	16,82 $\pm$ 2,14	23,06 $\pm$ 1,70	25,51 $\pm$ 1,65	24,07 $\pm$ 1,14
6,0	18,59 $\pm$ 2,53	46,21 $\pm$ 3,56	63,44 $\pm$ 6,17	79,73 $\pm$ 3,90	71,61 $\pm$ 7,29
11,0	17,03 $\pm$ 2,55	75,41 $\pm$ 9,11	119,85 $\pm$ 1,10	140,93 $\pm$ 10,01	152,80 $\pm$ 10,21
42,0	17,36 $\pm$ 5,28	137,95 $\pm$ 11,02	303,82 $\pm$ 13,25	349,67 $\pm$ 35,76	420,82 $\pm$ 27,69

Tabela 4A: Médias ( $\pm$  erro) de matéria seca da raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS - L)	TEMPO DE CONFINAMENTO – DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	2,09 $\pm$ 0,68	3,71 $\pm$ 0,48	3,93 $\pm$ 0,43	4,19 $\pm$ 0,19	5,28 $\pm$ 0,51
1,5	3,70 $\pm$ 0,08	6,26 $\pm$ 1,03	8,41 $\pm$ 0,50	10,33 $\pm$ 1,00	11,79 $\pm$ 1,14
6,0	5,80 $\pm$ 0,46	18,34 $\pm$ 1,40	21,27 $\pm$ 1,10	22,52 $\pm$ 1,87	27,07 $\pm$ 1,97
11,0	3,12 $\pm$ 0,45	25,52 $\pm$ 1,89	27,39 $\pm$ 2,57	38,35 $\pm$ 2,30	42,77 $\pm$ 5,58
42,0	2,00 $\pm$ 0,60	21,77 $\pm$ 2,24	52,93 $\pm$ 8,08	63,97 $\pm$ 0,14	102,4 $\pm$ 8,15

Tabela 5A: Médias ( $\pm$  erro) de razão parte aérea/raiz em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS - L)	TEMPO DE CONFINAMENTO – DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	4,99 $\pm$ 1,60	2,17 $\pm$ 0,16	2,27 $\pm$ 0,50	1,96 $\pm$ 0,22	1,73 $\pm$ 2,25
1,5	3,24 $\pm$ 0,34	3,06 $\pm$ 0,62	2,82 $\pm$ 0,19	2,60 $\pm$ 0,40	2,09 $\pm$ 0,73
6,0	3,79 $\pm$ 0,18	2,55 $\pm$ 0,32	3,01 $\pm$ 0,33	3,65 $\pm$ 0,50	2,71 $\pm$ 1,19
11,0	5,76 $\pm$ 0,29	3,01 $\pm$ 0,38	4,51 $\pm$ 0,40	3,70 $\pm$ 0,26	3,93 $\pm$ 0,96
42,0	11,43 $\pm$ 0,19	6,58 $\pm$ 0,13	6,45 $\pm$ 0,35	5,93 $\pm$ 0,74	4,17 $\pm$ 0,31

Tabela 6A: Médias ( $\pm$  erro) de transpiração ( $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS - L)	TEMPO DE CONFINAMENTO – DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	5,58 $\pm$ 1,04	5,58 $\pm$ 0,78	4,88 $\pm$ 0,56	3,86 $\pm$ 0,21	3,52 $\pm$ 0,77
1,5	5,38 $\pm$ 1,11	5,60 $\pm$ 0,83	4,24 $\pm$ 0,35	3,84 $\pm$ 0,36	3,84 $\pm$ 0,84
6,0	6,14 $\pm$ 1,13	5,48 $\pm$ 0,80	3,92 $\pm$ 0,20	3,78 $\pm$ 0,19	4,00 $\pm$ 0,94
11,0	5,52 $\pm$ 1,17	4,98 $\pm$ 0,75	4,22 $\pm$ 0,35	3,72 $\pm$ 0,27	4,20 $\pm$ 0,97
42,0	6,40 $\pm$ 1,27	5,08 $\pm$ 0,75	4,60 $\pm$ 0,16	4,48 $\pm$ 0,60	5,08 $\pm$ 1,09

Tabela 7A: Médias ( $\pm$  erro) de condutância estomática ( $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS - L)	TEMPO DE CONFINAMENTO – DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	0,2682 $\pm$ 0,07	0,2521 $\pm$ 0,05	0,1442 $\pm$ 0,01	0,1218 $\pm$ 0,01	0,1060 $\pm$ 0,01
1,5	0,2316 $\pm$ 0,03	0,2712 $\pm$ 0,06	0,1307 $\pm$ 0,01	0,1195 $\pm$ 0,01	0,117 $\pm$ 0,05
6,0	0,2525 $\pm$ 0,03	0,2684 $\pm$ 0,05	0,1299 $\pm$ 0,01	0,1308 $\pm$ 0,01	0,1306 $\pm$ 0,02
11,0	0,1936 $\pm$ 0,04	0,2529 $\pm$ 0,05	0,1512 $\pm$ 0,02	0,1375 $\pm$ 0,01	0,1404 $\pm$ 0,02
42,0	0,2248 $\pm$ 0,03	0,2862 $\pm$ 0,05	0,1903 $\pm$ 0,02	0,1711 $\pm$ 0,02	0,1893 $\pm$ 0,03

Tabela 8A: Médias ( $\pm$  erro) de taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS - L)	TEMPO DE CONFINAMENTO – DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	20,18 $\pm$ 2,73	11,96 $\pm$ 1,81	10,87 $\pm$ 1,61	13,37 $\pm$ 1,41	9,45 $\pm$ 0,79
1,5	18,13 $\pm$ 2,36	14,88 $\pm$ 1,66	10,73 $\pm$ 1,98	11,49 $\pm$ 1,32	8,77 $\pm$ 0,92
6,0	19,02 $\pm$ 1,12	15,02 $\pm$ 2,54	9,37 $\pm$ 1,62	13,56 $\pm$ 0,50	8,77 $\pm$ 1,78
11,0	16,69 $\pm$ 1,66	14,48 $\pm$ 1,61	10,95 $\pm$ 1,70	12,79 $\pm$ 1,11	9,74 $\pm$ 0,82
42,0	15,37 $\pm$ 2,10	16,60 $\pm$ 2,31	12,43 $\pm$ 2,09	15,20 $\pm$ 2,35	11,14 $\pm$ 1,10

Tabela 9A: Médias ( $\pm$  erro) de razão Fv/Fm em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS - L)	TEMPO DE CONFINAMENTO – DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
0,5	0,75 $\pm$ 0,01	0,77 $\pm$ 0,01	0,73 $\pm$ 0,01	0,70 $\pm$ 0,02	0,72 $\pm$ 0,02
1,5	0,76 $\pm$ 0,00	0,77 $\pm$ 0,01	0,73 $\pm$ 0,02	0,73 $\pm$ 0,01	0,70 $\pm$ 0,01
6,0	0,77 $\pm$ 0,01	0,76 $\pm$ 0,02	0,74 $\pm$ 0,01	0,72 $\pm$ 0,02	0,72 $\pm$ 0,01
11,0	0,77 $\pm$ 0,00	0,78 $\pm$ 0,01	0,72 $\pm$ 0,01	0,74 $\pm$ 0,01	0,74 $\pm$ 0,01
42,0	0,77 $\pm$ 0,01	0,79 $\pm$ 0,01	0,77 $\pm$ 0,01	0,76 $\pm$ 0,01	0,76 $\pm$ 0,01

Tabela 10A: Médias ( $\pm$  erro) de teor de óleo essencial (%) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS - L)	TEMPO DE CONFINAMENTO - DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
1,5	0,34 $\pm$ 0,098	0,44 $\pm$ 0,038	0,50 $\pm$ 0,020	0,36 $\pm$ 0,017	0,45 $\pm$ 0,029
6,0	0,71 $\pm$ 0,082	0,76 $\pm$ 0,018	0,75 $\pm$ 0,029	0,64 $\pm$ 0,032	0,64 $\pm$ 0,017
11,0	0,63 $\pm$ 0,079	0,95 $\pm$ 0,031	0,83 $\pm$ 0,032	0,76 $\pm$ 0,042	0,69 $\pm$ 0,025
42,0	0,61 $\pm$ 0,072	0,89 $\pm$ 0,031	0,87 $\pm$ 0,012	0,80 $\pm$ 0,026	0,75 $\pm$ 0,016

Tabela 11A: Médias ( $\pm$  erro) de teor de citral (%) em função dos tratamentos (“Nível de confinamento do sistema radicular” e “Tempo de confinamento do sistema radicular”).

NÍVEIS DE CONFINAMENTO (VOLUME DE VASOS - L)	TEMPO DE CONFINAMENTO - DIAS APÓS O PLANTIO				
	60	90	120	150	180
1,5	14,87 $\pm$ 1,76	27,39 $\pm$ 3,00	41,05 $\pm$ 3,74	42,94 $\pm$ 9,53	44,08 $\pm$ 5,90
6,0	35,22 $\pm$ 9,45	49,84 $\pm$ 5,85	57,49 $\pm$ 9,02	57,94 $\pm$ 6,14	52,95 $\pm$ 3,76
11,0	31,89 $\pm$ 3,73	51,82 $\pm$ 5,63	49,62 $\pm$ 3,70	61,13 $\pm$ 3,47	57,68 $\pm$ 5,23
42,0	39,69 $\pm$ 9,19	62,25 $\pm$ 6,58	52,97 $\pm$ 4,93	58,72 $\pm$ 7,20	59,01 $\pm$ 3,56

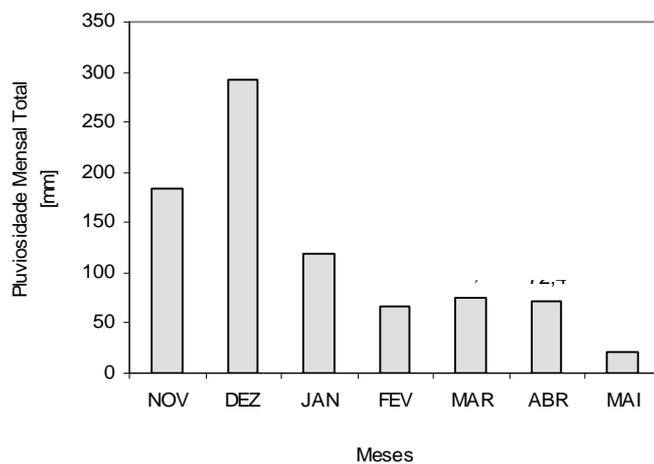


Figura 1A: Precipitação mensal total (mm) observada durante o período experimental (novembro/2005 a maio/2006). Dados da Estação Meteorológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus Dr. Leonel Miranda – Campos dos Goytacazes/RJ.

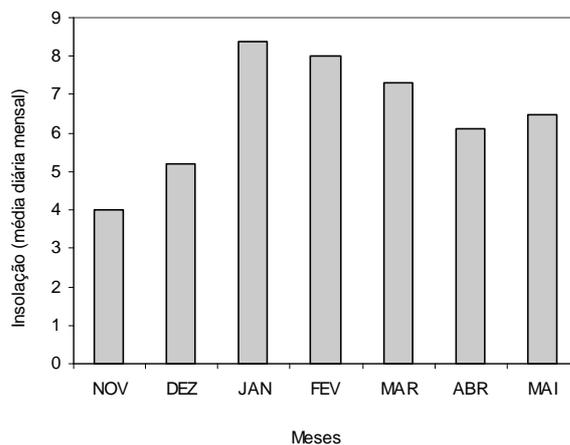


Figura 2A: Insolação média diária mensal (horas) observada durante o período experimental (novembro/2005 a maio/2006). Dados da Estação Meteorológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus Dr. Leonel Miranda – Campos dos Goytacazes/RJ.

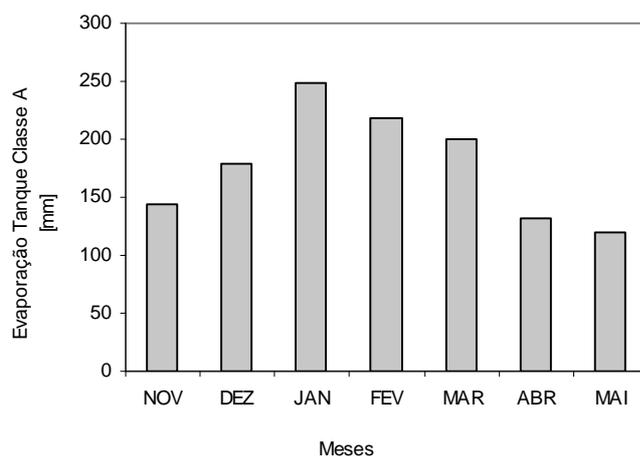


Figura 3A: Evaporação mensal total (mm) observada durante o período experimental (novembro/2005 a maio/2006). Dados da Estação Meteorológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus Dr. Leonel Miranda – Campos dos Goytacazes/RJ.

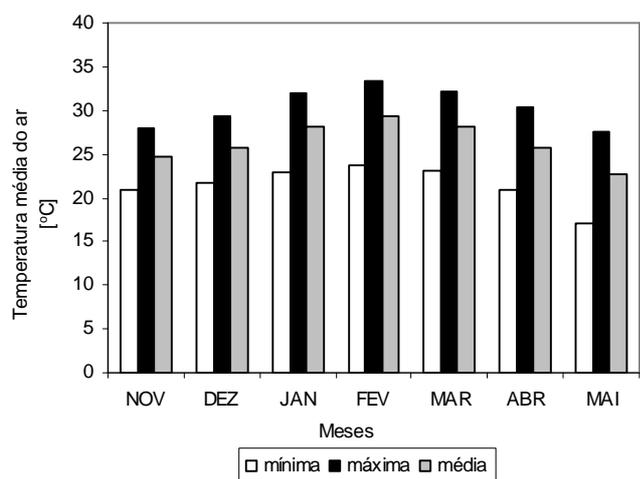


Figura 4A: Temperatura mínima, máxima e média do ar (°C). Média mensal observada durante o período experimental (novembro/2005 a maio/2006). Dados da Estação Meteorológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus Dr. Leonel Miranda – Campos dos Goytacazes/RJ.

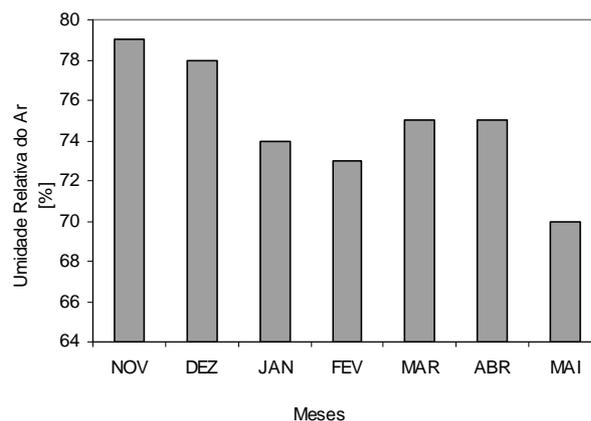


Figura 5A: Umidade Relativa do Ar (%). Média mensal observada durante o período experimental (novembro/2005 a maio/2006). Dados da Estação Meteorológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus Dr. Leonel Miranda – Campos dos Goytacazes/RJ.