

EFEITOS DO CONFINAMENTO RADICULAR NAS MEDIDAS BIOMÉTRICAS E ASSIMILAÇÃO DE CO₂ EM PLANTAS DE *Coffea canephora* PIERRE

EFFECTS OF ROOT CONFINEMENT ON BIOMETRICS MEASUREMENTS AND NET CO₂ ASSIMILATION IN *Coffea canephora* PIERRE PLANTS

Alena Torres Netto^{1,2,3,5}; Eliemar Campostrini^{1,3,5}; Mara de Menezes de Assis Gomes^{1,4,5}

RESUMO

Plantas de *Coffea canephora* Pierre foram cultivadas em recipientes de diferentes volumes (50, 100, 200, 300 e 3400 mL), contendo Plantmax® como substrato. As plantas cresceram sob telado com 50% de interceptação da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD), sendo utilizado um sistema de irrigação do tipo nebulização intermitente. No local, foram monitoradas a temperatura, a umidade relativa do ar e a PPFD. O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes volumes de recipientes de cultivo, ao longo do tempo, sobre algumas características biométricas e sobre a taxa de assimilação de CO₂. Quando comparadas com as plantas crescidas nos recipientes de 3400 mL, as que cresceram nos recipientes de 50, 100, 200 e 300 mL apresentaram menores medidas biométricas. As diferenças foram observadas a partir da 5ª semana após transplântio (SAT) para o comprimento da nervura central (CNC), da 16ª SAT para a altura (H), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), área foliar (AF), área radicular (AR), volume radicular (VR) e da 20ª SAT para número de folhas (NF). Entre as plantas de *Coffea c.* crescidas nos diferentes recipientes de cultivo, as diferenças encontradas nos valores das medidas biométricas estudadas parecem não estar relacionadas com a taxa fotossintética líquida, expressa por unidade de área da folha. No entanto, a síntese global de fotoassimilados foi fortemente afetada por meio do impacto no desenvolvimento.

Palavras-chave: cafeeiro, análise de crescimento, fotossíntese, restrição radicular.

ABSTRACT

Coffee plants (*Coffea canephora* Pierre) were cultivated in pots with volumes of 50, 100, 200, 300 and 3400 mL, using Plantmax® as substrate, in a greenhouse with 50% photosynthetic photon flux density (PPFD) and irrigated intermittently with a mist system. The conditions of air temperature, air relative humidity and PPFD were monitored. The aim of this work was estimated the effects of different pot volumes, within time, of some biometric measurements and CO₂ assimilation rate. Compared with the plants grown in the 3400 mL pots, those cultivated in 50, 100, 200 and 300 mL pots showed lower values for the performed biometric measurements. Such differences were observed since the 5th week after potting (WAP) for the length of central vein, since the 16th WAP for plant height, shoot dry weight, root dry weight, leaf area, root area and root volume, and since the 20th WAP for the number of leaves. The differences in biometric measurements for the different treatments do not seem to be related to rate of net photosynthesis, expressed per unit of leaf area. Nevertheless, the photoassimilated global synthesis was affected in the plants growing.

Key words: coffee plants, growth rate, photosynthesis, root restriction.

INTRODUÇÃO

O crescimento do cafeeiro é sazonal e varia conforme alterações nas condições climáticas como disponibilidade hídrica, temperatura e fotoperíodo, etc. Nesta espécie, a produção de folhas está associada ao crescimento dos ramos laterais, devido à dominância da gema apical (CASTRO, 1987). As raízes são órgãos fundamentais como elementos de suporte, absorção de água e de minerais e como órgãos de produção de várias substâncias orgânicas complexas, vitais para a fisiologia da planta inteira (RENA & GUIMARÃES, 2000).

O tamanho dos recipientes e a densidade de plantio são dois importantes fatores no custo da produção de mudas em casas de vegetação, pois interferem na qualidade da muda, sendo considerado um indicativo do seu desempenho no campo (APHALO & RIKALA, 2003).

Em café, a formação de mudas por estaquia, em tubetes pequenos (50 mL), pode provocar alterações na estrutura interna e arquitetura do sistema radicular. De fato, quando mantidas nesses recipientes por longos períodos, as plantas podem apresentar deformações nas raízes, que poderão comprometer seriamente a longevidade das plantas após transplante para o campo, principalmente a partir do terceiro ou quarto ano de produção (RENA & GUIMARÃES, 2000). Além de modificar a estrutura e arquitetura do sistema radicular, o confinamento do sistema radicular (CSR), pode causar significativas reduções de crescimento na parte aérea das plantas (SCHIAVO & MARTINS, 2003). Em plantas de tomate submetidas à compactação do solo, HUSSAIN et al. (1999) verificaram diminuição da massa seca de raiz e de parte aérea. Esta diminuição foi relacionada com alterações nas concentrações de etileno e de ácido abscísico na seiva do xilema. A restrição radicular foi responsável pela diminuição no comprimento das folhas e raízes de pimentão (ISMAIL & DAVIES, 1998). Do mesmo modo, em plantas de trigo e cevada, cultivadas em condições controladas de água e nutrientes, a limitação física ao crescimento das raízes provocou uma forte e rápida redução da taxa de alongamento da folha (YOUNG et al., 1997).

Alguns autores verificaram uma correlação positiva entre o volume do sistema radicular e a taxa fotossintética da planta (CARMÍ et al. (1983); TSCHAPLINSKI & BLAKE, 1985; ARP, 1991). Em plantas submetidas ao CSR, os processos fisiológicos relacionados com a diminuição do crescimento da parte aérea foram associados não só ao decréscimo da taxa fotossintética (ISMAIL & NOOR, 1996), mas também à inibição

¹ Engenheiro Agrônomo, Universidade Estadual do Norte Fluminense. *Av. Alberto Lamego, 2000 - CCTA/ LMGV/ SFV, CEP: 28013-620, Campos dos Goytacazes – RJ. alena@uenf.br

² Bolsista Doutorado - FAPERJ;

³ Professor Associado;

⁴ Bolsista de Pós-Doutorado, CNPq;

⁵ Universidade Estadual do Norte Fluminense. *Av. Alberto Lamego, 2000 - CCTA/ LMGV/ SFV, CEP: 28013-620, Campos dos Goytacazes – RJ.

no transporte de nutrientes (RIEGER & MARRA, 1994), ao transporte de água (HAMEED et al., 1987) e ao desequilíbrio hormonal (RICHARDS & ROWE, 1977).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, ao longo do tempo, os efeitos de diferentes volumes de recipientes de cultivo sobre algumas características biométricas e sobre a taxa de assimilação de CO₂, em plantas de *Coffea canephora* Pierre propagadas vegetativamente.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas estacas da espécie *Coffea canephora* Pierre (clone 07), de maturação média, provenientes da Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel da Palha Ltda (COOABRIEL), São Gabriel da Palha/ES, coletadas dos ramos ortotrópicos oriundos de plantas matrizes recepadas. As estacas com 180 mm de comprimento, contendo um par de folhas cortadas ao meio, foram enraizadas em recipientes de 50 mL contendo vermiculita como substrato. Após 60 dias, as estacas apresentaram o comprimento de raiz em torno de 20 mm, sendo então transplantadas para os recipientes de 50, 100, 200, 300 e 3400 mL.

As estacas foram transplantadas para recipientes de cloreto de polivinil (PVC), de coloração preta, com os volumes referidos (Tabela 1), contendo substrato do tipo Plantmax®. O experimento foi realizado sob uma cobertura, com 50% de interceptação da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD), na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro (PESAGRO – RIO), em Campos dos Goytacazes (21°27' S, 41°15' O). Estas estacas foram submetidas a um ambiente com nebulização intermitente, em intervalos de 10 minutos, e cada bico nebulizador tinha a vazão de 1,8 L h⁻¹, totalizando 28,8 L h⁻¹ na área total. O experimento decorreu durante 32 semanas após o transplante.

Tabela 1 - Características dos recipientes de cultivo.

Volume do recipiente (mL)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área da seção (mm ²)	Área da seção/Altura (mm)
50	123,5	26,8	168,1	1,36
100	148,9	36,3	227,9	1,53
200	131,4	50,6	317,6	2,42
300	193,7	52,2	327,7	1,69
3400	308,3	132,4	1935,8	6,28

A fertilização das plantas foi realizada a partir da 17ª semana após o transplante (SAT), com uma solução nitrogenada adicionada semanalmente ao substrato, na concentração de 50 mg NH₄SO₄ L⁻¹ de substrato. Entre a 22ª e a 28ª SAT, foi aplicada, via água de irrigação, solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1939) modificada e completa (SNC) composta por: Ca(NO₃)₂ 2 mM, KH₂PO₄ 0,5 mM, KNO₃ 2,5 mM, NH₄NO₃ 1 mM, MgSO₄ 1 mM, FeEDTA 40 µM, MnSO₄.H₂O 5 µM, ZnSO₄.7H₂O 2 µM, CuSO₄.5H₂O 0,5 µM, NH₄Mo7O₂₄.4H₂O 0,086 µM e KCl 50 µM.

Durante todo o experimento, entre 8 h e 17 h, os parâmetros ambientais variaram entre os valores mínimos e máximos: PPFD de 39 a 832 µmol m⁻² s⁻¹; temperatura média do ar de 25,23 °C (variando de 20,7 a 32,5 °C); umidade relativa do ar de 53,8 a 97,4%. Os valores foram obtidos a cada hora por meio de um quantômetro e um termohigrômetro modelo WatchDog 450, ambos da Spectrum Technologies, Inc., Illinois, USA.

A altura da planta (H) e o comprimento da nervura central da folha (CNC) foram determinados, semanalmente, por meio de um paquímetro digital (Eletrômetro Caliper). As medidas da H foram efetuadas a partir da base da estaca até o ápice caulinar e o CNC foi determinado, medindo-se o incremento do tamanho da nervura central. Para a característica CNC, as medidas foram efetuadas em duas folhas distintas. A primeira folha, medida entre a 1ª até a 14ª SAT, quando as folhas apresentaram estabilização no crescimento, passando-se para a medição da segunda folha, da 15ª semana até o final do experimento (30ª SAT). O número de folhas (NF) foi determinado pela contagem semanal desses órgãos.

Nas 8ª, 12ª, 16ª, 20ª, 24ª e 30ª semanas, as plantas foram divididas em parte aérea e raiz. A área foliar (AF) e a área da seção transversal das raízes (AR) foram determinadas utilizando-se o medidor de área foliar de bancada modelo LI-3100 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). O volume radicular (VR) foi obtido pelo deslocamento de volume de água em proveta graduada, segundo ROSSIELLO et al. (1995). O sistema radicular e a parte aérea foram colocados em estufa a 70 °C por 48 h, para determinação da biomassa da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), possibilitando assim o cálculo da relação entre MSPA e MSR.

A taxa fotossintética líquida (A, µmol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi determinada nas 8ª, 12ª, 15ª, 17ª, 23ª, 26ª e 32ª SAT, pelo sistema portátil de medição das trocas gasosas, modelo LI-6200 (LI-COR). As medições foram efetuadas usando uma PPFD de 1200 µmol m⁻² s⁻¹ temperatura do ar (T_a) de 28,3 ± 2,6 °C; temperatura foliar (T_f) de 29,9 ± 3,4 °C; concentração externa de CO₂ 365,3 ± 20,2 (µL L⁻¹) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar circundante de 2,5 ± 1,1 kPa. Todas as medidas foram efetuadas nas condições de cultivo entre 7h e 9h, na 3ª ou 4ª folha contadas a partir do ápice.

Foram realizados dois experimentos. No primeiro experimento foram realizadas as análises não-destrutivas como: a altura total (H), o comprimento da nervura central (CNC) e o número de folhas (NF). Este experimento foi realizado combinando-se o volume e o tempo num esquema fatorial. No segundo experimento, foram analisadas as taxas fotossintéticas e as características biométricas de caráter destrutivo: área foliar (AF), área superficial de raízes (AR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e volume radicular (VR). O experimento foi realizado em parcela sub-dividida, na qual a parcela consistiu em volume do recipiente e a sub-parcela o tempo. O delineamento de ambos os experimentos foi o de blocos ao acaso, com seis repetições.

As comparações foram feitas entre as médias obtidas em cada volume de recipiente, dentro de cada semana. Os resultados foram submetidos a uma ANOVA com significância p < 0,05. Foi feito o Teste de Tukey para 95 % de nível de confiança.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos resultados referentes ao comprimento da nervura central foliar (CNC), foram ajustados modelos matemáticos sigmóides tanto para a primeira (1-14ª SAT) quanto para a segunda folha analisada (a partir da 14ª SAT). Verificou-se que, por meio da inclinação da curva, na primeira folha, as plantas cultivadas nos recipientes de 50 e 300 mL apresentaram os menores valores da taxa de incremento deste parâmetro (Figura 1). A possível explicação para os elevados valores na taxa de incremento do CNC nas plantas

criadas no volume de 200 mL, semelhante às plantas criadas no volume de 3400 mL, poderá estar relacionada com o formato do recipiente, já que, recipientes com elevados valores da relação área da seção/altura permitem maiores valores em medidas biométricas como o número de folhas, a massa seca total da planta, a massa total da parte aérea, entre outros (HANSON et al., 1987). As diferenças em CNC, entre as plantas criadas nos recipientes de 3400 mL e as demais,

foram maiores a partir da 5ª SAT. No entanto, é a partir da 2ª folha (14ª SAT) que as plantas criadas no volume de 3400 mL apresentaram maiores diferenças. Resultados semelhantes foram obtidos com os trabalhos de BEENSTER et al. (1996), em trigo, e de PETERSON et al. (1991), em tomateiro, que observaram fortes decréscimos no tamanho das folhas quando estas espécies foram sujeitas a condições de CSR.

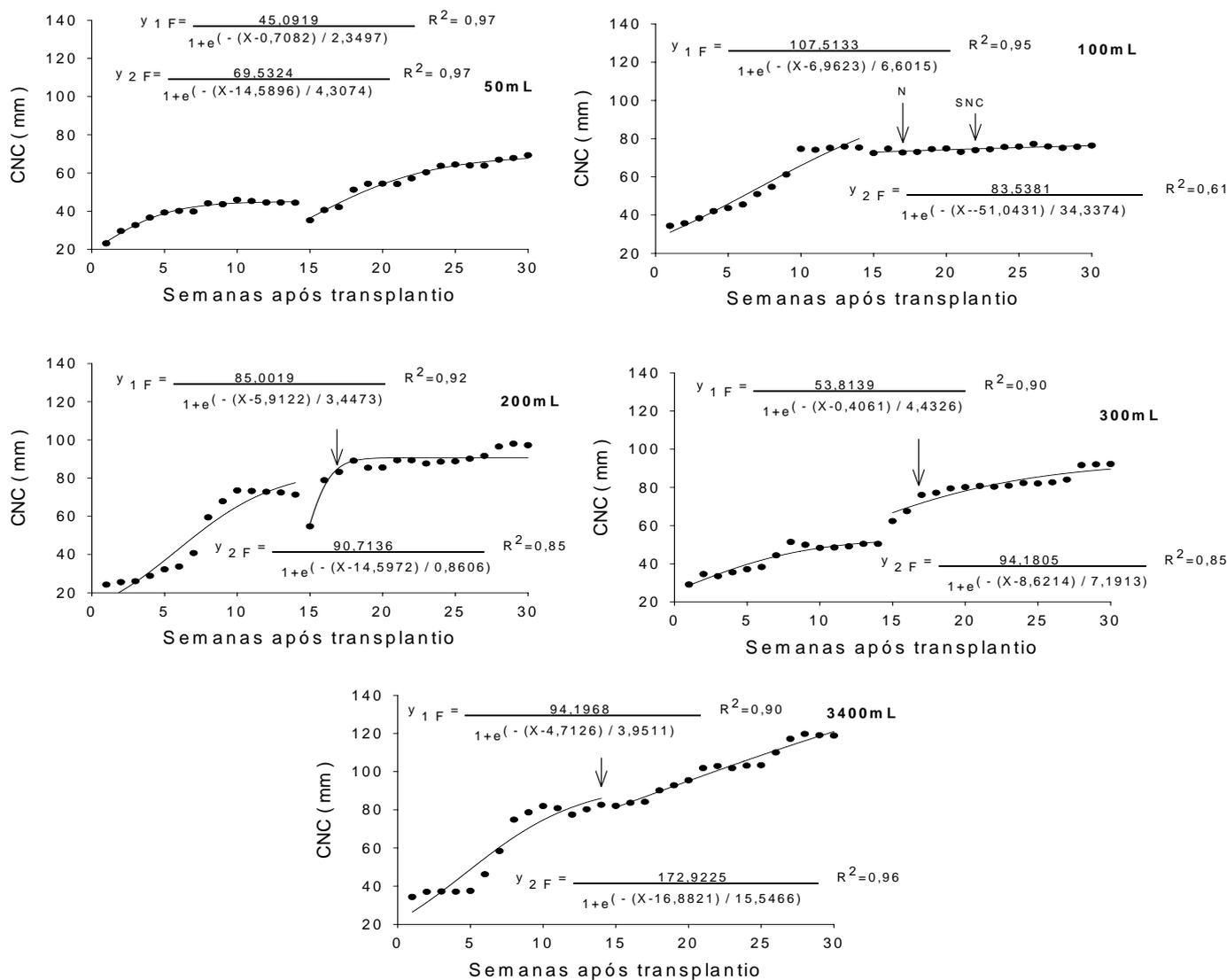


Figura 1 – Comprimento da nervura central da folha (CNC) de plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes. As setas indicam o início da medição na 2ª folha. Cada ponto representa a média de 6 repetições. Os símbolos 1F e 2F significam primeira e segunda folha, respectivamente.

O número de folhas foi afetado, numa tendência perceptível à 20ª SAT e se tornando-se significativa à 24ª SAT (Figura 2), com valores superiores observados nas plantas criadas nos recipientes de 3400 mL. Nesse volume de recipiente o aparecimento de folhas novas foi crescente até o final do experimento, enquanto nos demais esse incremento foi inferior ou nulo até a 30ª SAT. Nas plantas cultivadas nos recipientes de 50, 100, 200 e 300 mL, verificou-se abscisão

foliar após esta época e até a aplicação de SNC, a qual pode estar relacionada com a produção de etileno (KAYS et al., 1974; LIU & LATIMER, 1995; HUSSAIN et al., 1999). Estes dois fatores afetaram na AF, que se tornou significativamente superior nos recipientes de 3400 mL a partir da 16ª SAT (Figura 4A).

MUTSAERS (1983) estudou os efeitos do CSR em plantas de algodão, atribuindo os seus efeitos sobre as

medidas biométricas à deficiência nutricional. Essas observações estão de acordo com os valores foliares de N-total (após a 14ª SAT) observados nas plantas dos recipientes de 3400 mL (TORRES NETTO, 2001).

Neste experimento com *C. canephora*, observou-se que as diferenças no CNC apareceram já na 5ª SAT, enquanto que, para os demais parâmetros biométricos, os efeitos foram mais tardios. Este fato pode mostrar que o crescimento foliar constituirá o processo mais rapidamente sensível aos efeitos do CSR.

A altura (H) foi também significativamente afetada devido às condições de CSR após a 16ª SAT (Figura 3), onde observa-se que as plantas nos recipientes de volumes reduzidos apresentam um incremento em altura reduzido, quando comparadas com as plantas crescidas nos recipientes de 3400 mL, o que está de acordo com os resultados obtidos em pessegueiro (RIEGER & MARRA, 1994), em milho (GROLEAU-RENAUD et al., 1998) e em *Acacia mangium* (SCHIAVO & MARTINS, 2003), fato que poderá estar associado a um desequilíbrio hormonal, como observado em tomateiro (NISHIZAWA & SAITO, 1998).

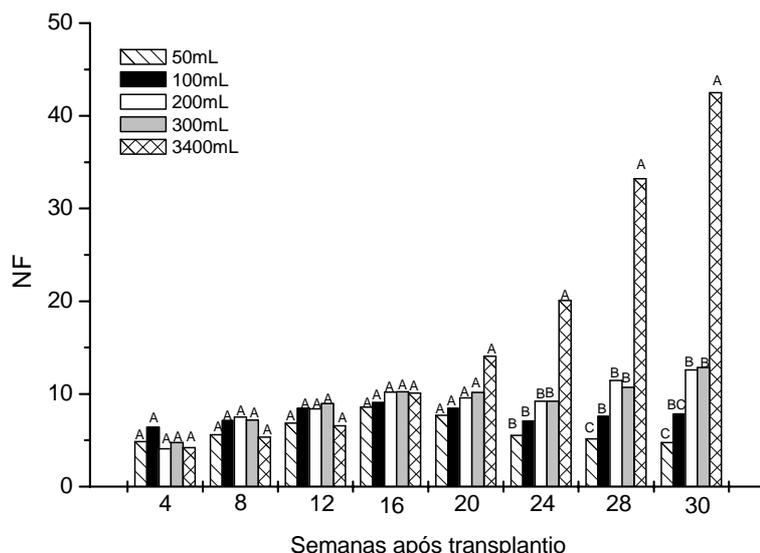


Figura 2 – Número de folhas (NF) de plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco recipientes de volumes diferentes. Cada barra corresponde à média de 6 repetições, sendo a comparação estatística de médias efetuada entre os 5 recipientes para cada data. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente (Tukey, 5%).

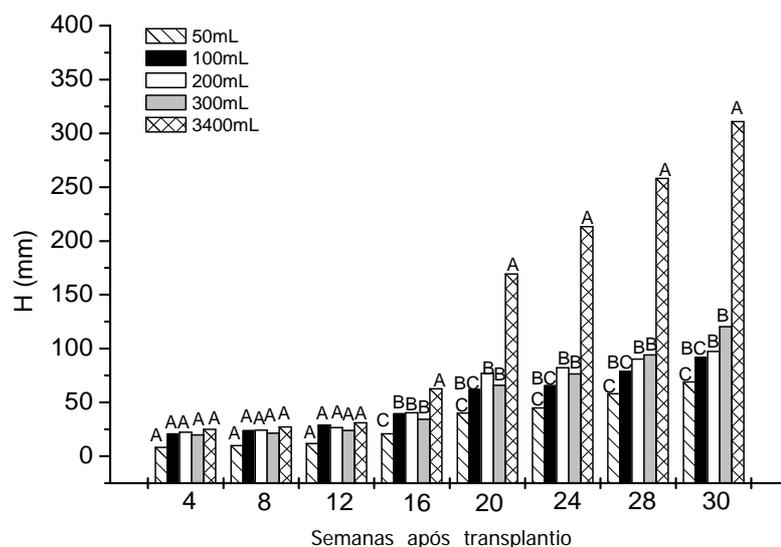


Figura 3 – Altura (H) de plantas de *C. canephora* Pierre em cinco recipientes de volumes diferentes. Significado dos dados e análise estatística efetuada como referido na Figura 2.

As medidas de área radicular (AR), massa seca de raízes (MSR) e o volume radicular (VR) apresentaram tendência semelhante ao da AF, com valores crescentes com o aumento do volume do recipiente (Figuras 4 e 5). O

aparecimento de diferenças significativas nestes parâmetros entre as plantas crescidas nos recipientes de 3400 mL e as dos demais recipientes, ocorreu entre a 16^a SAT e a 20^a SAT, tornando-se maiores com o passar do tempo.

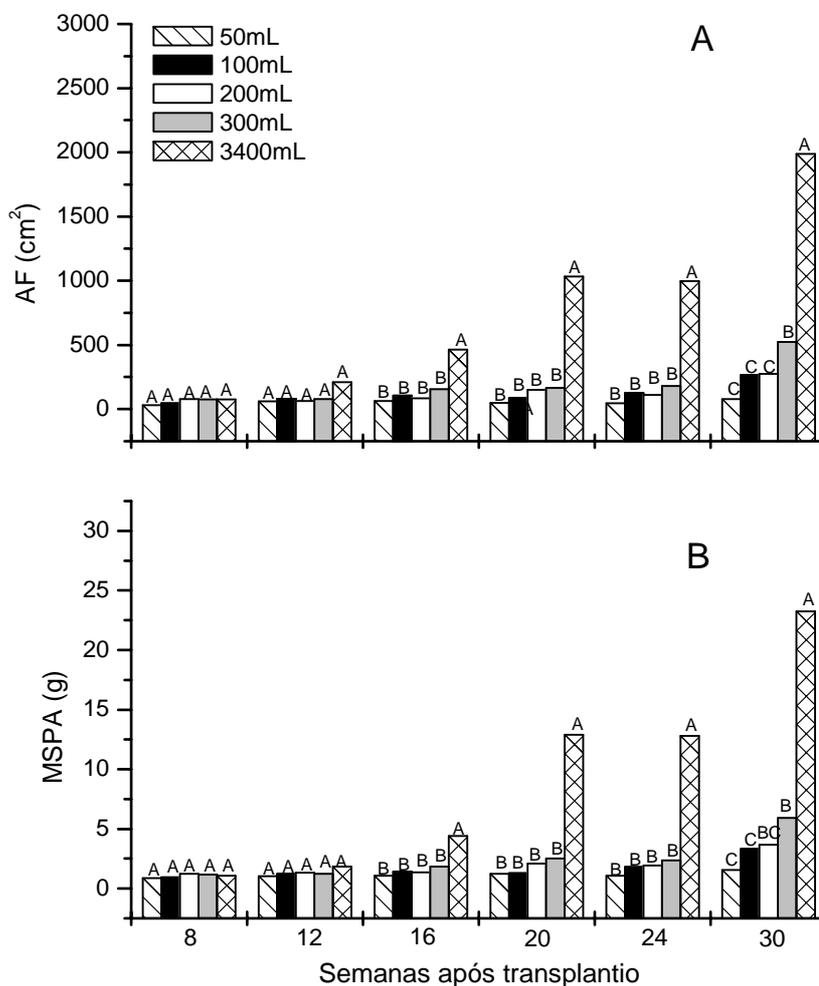


Figura 4 – Área foliar (AF) (a) e massa seca parte aérea (MSPA) (b) de plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes. Significado dos dados e análise estatística efetuada como referido na Figura 2.

Estes resultados estão de acordo com o que se observou em outras espécies submetidas ao CSR, que apresentaram reduções na MSPA, como em feijoeiro (CARMI et al., 1983), macieira (BAR-YOSEF et al., 1988) e *Acacia mangium* (SCHIAVO & MARTINS, 2003) ou na MSR em *Eonymus kiautschovica* Loes 'Sieboldiana', com reduções de 37 a 59% (DUBIK et al., 1990). De fato, em pessegueiro, a diminuição na biomassa da raiz e da parte aérea foi proporcional ao volume do recipiente utilizado (RIEGER & MARRA, 1994). Em *Quercus rubra* L. o menor MSR foi correlacionado preferencialmente com diâmetro e volume do recipiente usado, observando-se um maior efeito em nível do desenvolvimento das raízes laterais (HANSON et al., 1987).

Ao longo do tempo a relação entre as biomassas das partes aérea e radicular diminuiu devido ao maior desenvolvimento do sistema radicular (Figura 6). No entanto,

apesar de fortes alterações provocadas pelo CSR, em nível radicular e foliar, aquelas relações não foram alteradas pelo tamanho do recipiente, fato já anteriormente observado em plantas de batata-doce (CHING, 2000), *E. kiautschovica* Loes. 'Sieboldiana' (DUBIK et al., 1990) e *Betula pendula* Roth (APHALO & RIKALA, 2003). Contudo, outros autores trabalhando com tomateiro (BAR-TAL et al., 1995; NISHIZAWA & SAITO, 1998; MUGNAI et al., 2000) e girassol (TERNES et al., 1994) relataram reduções nas relações entre MSPA/MSR em consequência do CSR, o que em certos casos foi associado a déficit hídrico (RAHMAN et al., 1999). Estes diferentes impactos na relação MSPA/MSR podem ser consequência de diferenças genéticas fundamentais em resposta à partição de fotoassimilados, ou devidas aos tipos de solo, condições ambientais, ou até dos procedimentos de amostragem utilizadas (WOLFE et al., 1995).

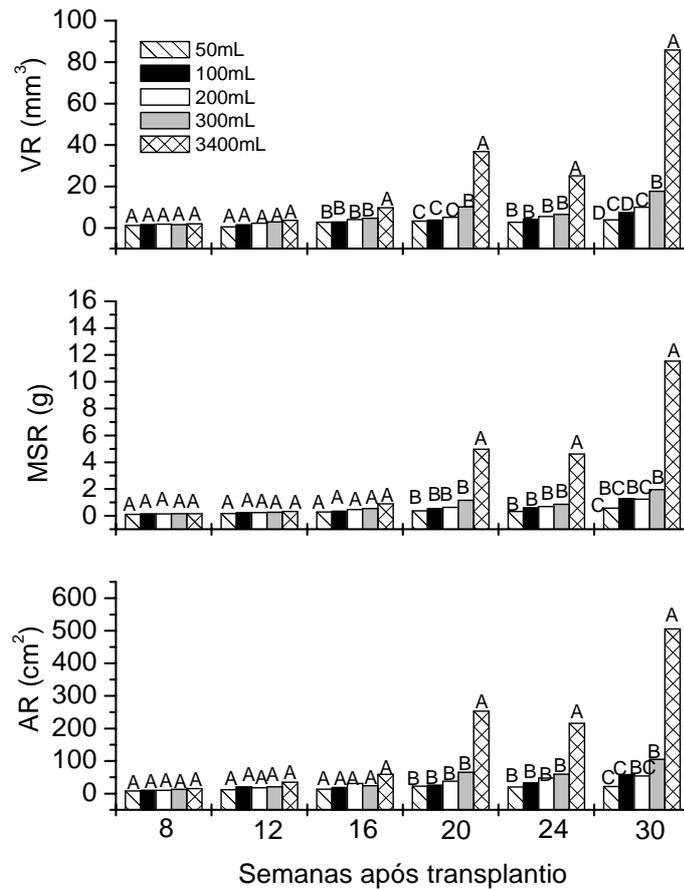


Figura 5 - Área radicular (AR) (a), massa seca de raízes (MSR) (b) e volume radicular (VR) (c) de plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes. Significado dos dados e análise estatística efetuada como referido na Figura 2.

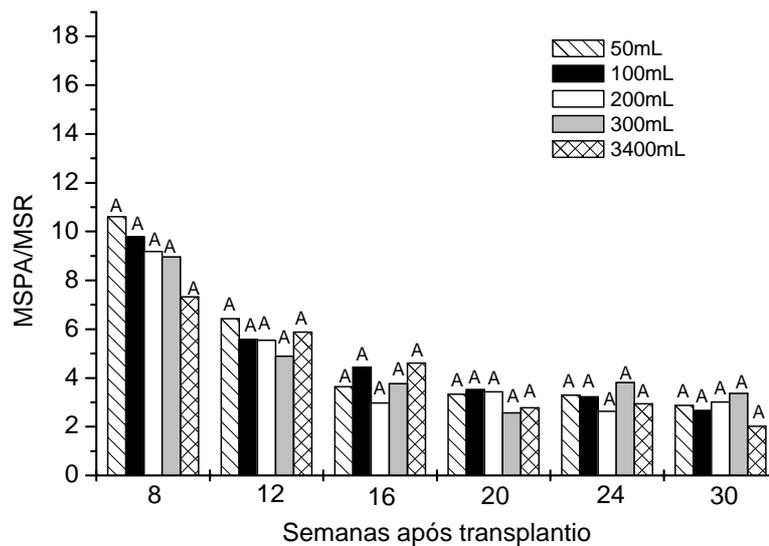


Figura 6 - Relação entre a massa seca da parte aérea/ massa seca de raízes (MSPA/MSR) de plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes. Significado dos dados e análise estatística efetuada como referido na Figura 2.

Pode-se observar que a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) apresentaram as maiores diferenças entre os tratamentos após a 23^a SAT (Figura 7). Nas plantas crescidas nos recipientes de 50 mL, o efeito do CSR sobre A foi observado na 26^a SAT, enquanto as demais plantas apresentavam taxas similares às das plantas crescidas nos recipientes de 3400 mL. Na 32^a SAT os valores de A foram muito próximos nas plantas crescidas nos volumes de 50, 100, 200 e 300 mL.

A AF das plantas crescidas nos recipientes de 3400

mL foi superior às crescidas nos demais recipientes desde a 16^a, o que deve ter influenciado nos demais parâmetros estudados. Foi observado na 20^a SAT que essas plantas crescidas neste tipo de recipiente apresentavam uma AF cerca de 200% acima dos valores determinados nas plantas desenvolvidas nos demais recipientes, oscilando entre 200% e 500% pela 30^a SAT. Essa diferença na AF possibilitou certamente uma maior produção de fotoassimilados a serem distribuídos nas plantas, possibilitando um maior crescimento, ou seja, maior CNC, H, NF, MSPA, MSR, VR.

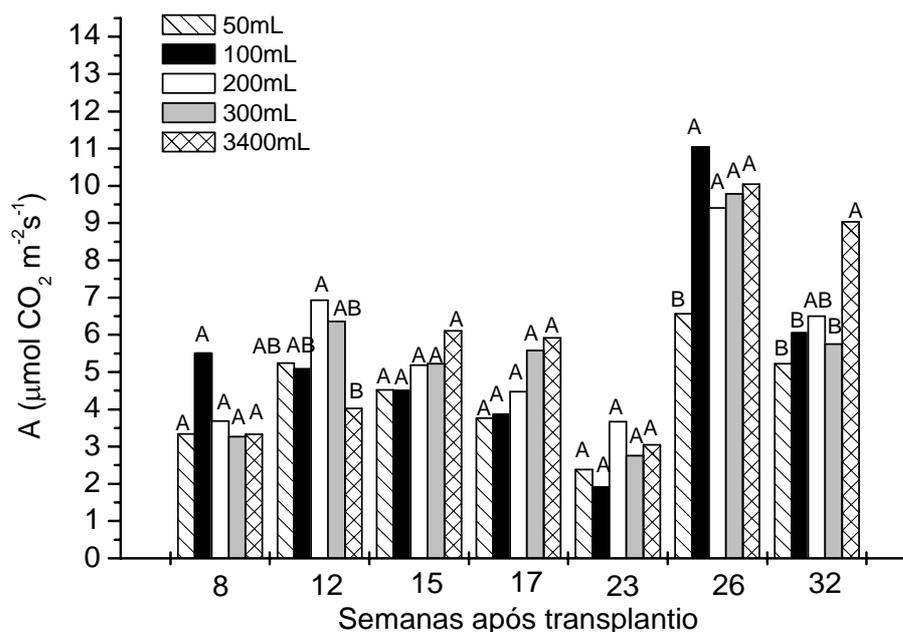


Figura 7– Taxa fotossintética (A) em plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes. Significado dos dados e análise estatística efetuada como referido na Figura 2.

Outra hipótese para explicar os efeitos do CSR baseia-se na alteração da produção de reguladores de crescimento, e do seu equilíbrio, em nível das raízes (RICHARDS & ROWE, 1977; YOUNG et al., 1997; HUSSAIN et al., 1999). De fato, as condições de CSR provocam o aumento da síntese de ácido abscísico nas raízes que, sendo transportado para parte aérea, induzirá o fechamento estomático e, conseqüentemente, restringirá a assimilação de CO₂ (ITAI & BIRNBAUM, 1991). Também a síntese de etileno é estimulada em solos que oferecem impedimento ao crescimento e desenvolvimento das raízes, provocando efeitos na parte aérea relacionados com epinastia e senescência (ITAI & BIRNBAUM, 1991; HUSSAIN et al., 1999). Por outro lado, o aumento da concentração de auxinas nas raízes está relacionado com a inibição do crescimento em extensão destes órgãos, modificando a relação raiz/parte aérea e, por isso, a relação fonte-dreno (ITAI & BIRNBAUM, 1991).

Em outras espécies, como pessegueiro (RIEGER & MARRA, 1994), mamoeiro (CAMPOSTRINI, 1997) e videira (FERREÉ et al., 1999), os valores de A foram inferiores em condições de CSR, o que em alguns casos poderá estar relacionado com fatores não-estomáticos (RIEGER & MARRA, 1994).

Os efeitos causados pelo confinamento radicular nos parâmetros biométricos de avaliação do desenvolvimento vegetal terão muito provavelmente a contribuição de desequilíbrios nos reguladores de crescimento e, eventualmente, dos níveis de nutrientes e água disponíveis. Assim, estes aspectos deverão ser particularmente focados em futuras investigações, que deverão incluir também o impacto que a produção de mudas em diferentes recipientes tem no desempenho agrônômico das plantas em condições de campo.

CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho evidenciaram que as características biométricas foram afetadas pelo confinamento do sistema radicular, já que as plantas crescidas nos recipientes de 50, 100, 200 e 300 mL apresentaram crescimento reduzido relativamente às que cresceram nos recipientes de 3400 mL. Estas modificações nas características de crescimento não foram causadas por alterações na taxa fotossintética líquida por unidade de área. No entanto, a síntese global de fotoassimilados foi fortemente afetada através do impacto no desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Cochicho Ramalho, Pesquisador auxiliar do de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) / Departamento de Ciências Naturais (DCN) / Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT) – Portugal e ao Dr. Fábio Murilo DaMatta, Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelas críticas e sugestões ao trabalho.

REFERÊNCIAS

- APHALO, P.; RIKALA, R. Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. **New Forests**, Netherlands, v. 25, n.2, p.93–108, 2003.
- ARP, W.J. Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO₂. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v.14, n.8, p.869-875, 1991.
- BAR-TAL, A.; FEIGIN, A.; SHEINFELD, S. et al. Root restriction and N-NO₃ solution concentration effects on nutrient uptake, transpiration and dry matter production of tomato. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.63, n.3-4, p.95-208, 1995.
- BAR-YOSEF, B.; SCHWARTZ, S.; MARKOVICH, T. et al. Effect of root volume and nitrate solution concentration on growth, fruit yield, and temporal N and water uptake rates by apple trees. **Plant and Soil**, Crawley, v.107, n.1, p.49-56, 1988.
- BEENSTER, G.T.S.; MASLE, J.; WILLIANSO, R.E. et al. Effects of soil resistance to root penetration on leaf expansion in wheat (*Triticum aestivum* L.): Kinematic analysis of leaf elongation. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.47, n.304, p.1663-1667, 1996.
- CAMPOSTRINI, E. **Comportamento de quatro genótipos de mamoeiro (Carica papaya L.) sob restrição mecânica ao crescimento radicular**. Campos dos Goytacazes – RJ, 1997. 166p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- CARMI, A.; HESKET, J.D.; ENOS, W.T. et al. Interrelationship between shoot growth and photosynthesis as affected by root growth restriction. **Photosynthetica**, Praga, v.17, n.2, p.240-245, 1983.
- CASTRO, P.R.C. **Ecofisiologia da produção Agrícola**. Eds. CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O. e YAMADA, T. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1987. 249p.
- CHING, A. The effect of transplant container cell shape on vegetative growth and root yield of sweet potato. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.516, n.6, p.163-167, 2000.
- DUBIK, S.P.; KRIZEK, D.P.; STIMART, D.P. 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 Plant Nutrition**, Georgia, v.13, n.6, p.677-699, 1990.
- FERREE, D.C.; SCURLOCK, D.M.; SCHMID, J.C. Root pruning reduces photosynthesis, transpiration, growth and fruiting of container-growth French-American hybrid grapevines. **Hortscience**, Alexandria, v.34, n.6, p.1064-1067, 1999.
- GROLEAU-RENAUD, V.; PLANTUREUX, S.; GUCKERT, A. Influence of plant morphology on root exudation of maize subjected to mechanical impedance in hydroponic conditions. **Plant and Soil**, Crawley, v.201, n. 2, p.231-239, 1998.
- HAMEED, M.A.; REID, J.B.; ROWE R.N. Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Annals of Botany**, Bristol, v.59, n.6, p.685-692, 1987.
- HANSON, P.J.; DIXON, R.K.; DICKENSON, R.E. Effect of container size and shape on the growth of northern red oak seedlings. **HortScience**, Alexandria, v.22, n.12, p.1293-1295, 1987.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Calif. Agr. Expt. Sta., 1939. Circ. 347.
- HUSSAIN, A.; BLACK, C.R.; TAYLOR, I.B. et al. Soil Compaction. A role for ethylene in regulating leaf expansion and shoot growth in tomato. **Plant Physiology**, Illinois, v.121, n.4, p.1227-1237, 1999.
- ISMAIL, M.R.; DAVIES, W.J. Root restriction affects leaf growth and stomatal response: the role of xylem sap ABA. **Scientia horticulturae**, Amsterdam, v.74, n.4, p.257-268, 1998.
- ISMAIL, M.R.; NOOR, K.M. Growth, water relations and physiological process of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under root growth restriction. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.66, n.1-2, p.51-58, 1996.
- ITALI, C.; BIRNBAUM, H. Synthesis of growth plant regulators by roots. In: WARSEL, Y., ESHEL, A., KAFKAF, U. (eds). **Plant roots – the hidden half**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991. p.163-177.
- KAYS, J.; NICKLOW, C.W.; SIMONS, D.H. Ethylene in relation to the response of roots to physical impedance. **Plant and Soil**, Crawley, v.40, n.5, p.565-571, 1974.
- LIU, A.M.; LATIMER, J.G. Root cell volume in the planter flat affects watermelon seedling development and fruit yield. **Hortscience**, Alexandria, v.30, n.2, p.242-246, 1995.
- MUGNAI, S.; VERNIERI, P.; TOGNONI, F. Container volume effects on morphology and physiology of tomato seedlings. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.516, n.1, p.49-56, 2000.
- MUTSAERS, H.J.W. Leaf growth in cotton (*Gossypium hirsutum* L.): 2.The influence of temperature, light, water stress, and root restriction on the growth and initiation of leaves. **Annals of Botany**, Bristol, v.51, n.4, p.521-529, 1983.
- NISHIZAWA, T.; SAITO, K. Effects of rooting volume restriction on the growth and carbohydrate concentration in tomato plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.123, n.4, p.581-585, 1998.
- PETERSON, T.A.; REINSEL, M.D.; KRIZEK, D.T. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'Better Bush') plant response to root restriction. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.42, n.243, p. 1233-1240, 1991.
- RAHMAN, M.H.; KAWAI, S.; ALAM, S. et al. Effect of soil compaction on plant growth in an andisol. **Japanese Journal Tropical Agriculture**, Kanagawa, v.43, n.3, p.129-135, 1999.
- RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80p.
- RICHARDS, D.; ROWE, R.N. Effects of root restriction, root pruning, and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. **Annals of Botany**, Bristol, v.41, n.4, p.729-740, 1977.
- RIEGER, M.; MARRA, F. Responses of young peach trees to root confinement. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.119, n.2, p.223-228, 1994.
- ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO, C.V. et al. Comparação dos métodos fotoelétrico e da interseção na determinação da área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.5, p.633-638, 1995.

SCHIAVO, J.A.; MARTINS, M.A. Produção de mudas de acácia colonizadas com micorriza e rizóbio em diferentes recipientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.173-178, 2003.

TERNES, M.; ANDRADE, A.P.; JORRIN, J. et al. Root-shoot signaling in sunflower plants with confined root systems. **Plant and Soil**, Crawley, v.166, p.31-36, 1994.

TORRES NETTO, A. **Ecofisiologia de plantas de *Coffea canephora* Pierre cultivadas em condições de confinamento do sistema radicular**. Campos dos Goytacazes, 2001. 89p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense.

TSCHAPLINSKI, T.J.; BLAKE, T.J. Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings. **Physiologia Plantarum**, Lund, v.64, n.2, p.167-176, 1985.

WOLFE, D.W.; TOPOLESKI, D.T.; GUNDERSHEIM, N.A. et al. Growth and yield sensitivity of four vegetable crops to soil compactation. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.120, n.6, p.956-963, 1995.

YOUNG, I.M.; MONTAGU, K.; CONROY, J. et al. Mechanical impedance of root growth directly reduces leaf elongation rates of cereals. **New Phytologist**, Sheffield, v.135, n.4, p.613-619, 1997.