

ECOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE *Coffea canephora* PIERRE CULTIVADAS EM CONDIÇÕES DE CONFINAMENTO DO SISTEMA RADICULAR: INFLUÊNCIAS SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL

ECOPHYSIOLOGY OF *Coffea canephora* PIERRE PLANTAS CULTIVATED IN ROOT SYSTEM RESTRICTION CONDITIONS: INFLUENCES ON MINERAL NUTRITION

Alena Torres Netto¹ e Eliemar Campostrini²

- NOTA -

RESUMO

Plantas de *Coffea canephora* Pierre foram cultivadas em recipientes de cultivo de diferentes volumes (50, 100, 200, 300 e 3.400mL), contendo Plantmax® como substrato. Da 17^a até a 20^a semanas após o transplântio (SAT) foi aplicada solução nitrogenada (N) diretamente no substrato. Da 22^a até a 28^a SAT foi aplicada solução nutritiva completa (SNC) via água de irrigação. O objetivo desse trabalho foi determinar, numa escala temporal, a influência do volume do recipiente de cultivo sobre a nutrição (N-total, P, K, Ca e Mg) na parte aérea das plantas sob condições de confinamento do sistema radicular. Foram observadas reduções nos teores de N-total e K em todos os recipientes de cultivo até a 20^a SAT. Entretanto, os valores destes nutrientes minerais, na parte aérea das plantas cultivadas nos recipientes de 3400mL, apresentaram um valor máximo na 12^a para N-total e na 12^a e na 16^a SAT para K. Todas as plantas apresentaram reduções nos teores de P, até a 20^a SAT. As plantas cultivadas nos recipientes de 50, 100, 200 e 300mL responderam com menos intensidade à aplicação de SNC após a 22^a SAT. Após a aplicação da SNC, foi verificada uma maior concentração de N-total e K nas plantas cultivadas em todos os volumes de recipiente. As plantas crescidas em todos os recipientes de cultivo, apresentaram um incremento nos teores de Ca e Mg, após a 12^a SAT.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, nutrientes, restrição radicular

ABSTRACT

Coffea canephora Pierre plants were grown in five pot sizes (50, 100, 200, 300 and 3.400mL), filled with Plantmax®. The plants grew under screen with 50% of interception of the photosynthetic photons flux (PPF). A sprinkle intermittent irrigation system was used. From 17th to 20th weeks after transplantation (WAT) nitrogen solution (N) was applied directly in the substrate. From 22th to 28th WAT complete nutrient solution (CNS) was applied by water irrigation. The aim of this work was to quantify, in a time scale, the influence of different volume recipients in nutrient composition (total-N, P, K, Ca and Mg), in the shoot under root restriction conditions. Reductions were observed in total-N and K contents in all pots sizes until 20th WAT. These nutrient contents in the shoot of 3400mL plants, showed a higher total-N value in 12th and to K in the 12th and 16th WAT. Plants showed a decline in P contents until the 20th WAT. The plants in 50, 100, 200 e

300mL pot sizes had a lower response to CNS application after the 22th WAT. After the application of CNS, it was verified a higher concentration of total-N and K in cultivated plants in all volume recipients. The plants showed a increase in Ca and Mg contents after 12th WAT in all volume recipients.

Key words: *Coffea canephora*, nutrients, root restriction

As raízes são importantes na regulação do crescimento da parte aérea. Esses órgãos exercem a função de absorver e conduzir água, nutrientes minerais, além de ser fonte de fitohormônios. É sabido que o confinamento do sistema radicular, em recipientes de pequeno volume, limita o crescimento das plantas por meio de reduções no crescimento analisado pela área foliar, o número de folhas, a altura das plantas, o volume radicular e a produção de biomassa (RICHARDS & ROWE, 1977; CARMÍ & HEUR, 1981; ROBBINS & PHARR, 1988). As possíveis causas da redução do crescimento da parte aérea, pelo confinamento do sistema radicular, estão relacionadas à diminuição no suprimento de nutrientes (HANSON *et al.*, 1987; BAR-TAL *et al.*, 1990; COLEMAN *et al.*, 1993), ao estresse hídrico (KRIZEK *et al.*, 1995) ou a ambos (TSCHAPLINSKI & BLAKE, 1985; HAMEED *et al.*, 1987). Entretanto, em alguns casos, os efeitos do confinamento radicular não se relacionaram à deficiência nutricional (CARMÍ & HEUR, 1981; ROBBINS & PHARR, 1988) ou ao estresse hídrico (RUFF *et al.*, 1987). Nesse caso, foi sugerida a hipótese de que um sinal metabólico enviado pelo sistema radicular estaria envolvido na redução do crescimento (MANDRE *et al.*, 1995).

Vários autores têm demonstrado que o tamanho, a morfologia das raízes e a distribuição de matéria seca e de nutrientes inorgânicos, entre os vários órgãos da planta, podem ser influenciados de forma indireta pela dimensão do recipiente em que a raiz cresce (RICHARDS & ROWE, 1977; CHOI *et al.*, 1997; CAMPOSTRINI, 1997; RAY & SINCLAIR, 1998; SCHAFFER *et al.*, 1999). A deficiência nutricional pode não somente alterar a produção de fotoassimilados pelo decréscimo da fonte (área foliar e longevidade foliar), mas também pela alteração na distribuição destes fotoassimilados entre as fontes e os vários drenos. A partição de fotoassimilados é dependente da ciclagem de certos nutrientes minerais nas folhas fonte e a deficiência desses minerais pode prejudicar a exportação destes fotoassimilados. A mobilidade dos nutrientes minerais da parte aérea em direção as raízes pode ser um sinal importante no

¹ CCTA/P4/LMGV, Av. Alberto Lamego, 2000, Sala 217, Campos dos Goytacazes, RJ. E-mail: alena@uenf.br.

² Eng. Agr., Dr., Prof. Associado da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000, Sala 217, Campos dos Goytacazes, RJ.

(Recebido em 06/06/2008, aprovado em 26/01/2009)

controle do tipo *feedback* para a absorção de nutrientes e este controle depende do crescimento da planta (MARSCHNER *et al.*, 1996).

Dubik *et al.* (1990) e Rieger & Marra (1994) relataram que os menores teores de nutrientes minerais, na parte aérea de plantas crescidas sob confinamento do sistema radicular, são justificados pela menor absorção dos íons e citam como possíveis causas o menor número de ápices radiculares; o menor comprimento radicular (ou seja, menor área de absorção) e o envelhecimento das raízes com o aumento da suberização. Entretanto, Bar-Yosef *et al.* (1988) relataram que plantas crescidas sob confinamento do sistema radicular podem desenvolver mecanismos de estímulo ao aumento da eficiência de absorção tanto de água quanto de nutrientes, esse aumento foi associado por Richards & Rowe (1977) a um aumento na absorção a um aumento na produção de fitohormônios. RAN *et al.* (1992) sugerem que os mecanismos fitohormonais sejam mediados pela concentração de citocinina no dossel, e relataram que a concentração deste fitohormônio foi maior em plantas crescidas em elevados volumes de recipiente de cultivo.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi determinar, numa escala temporal, a influência do volume do recipiente de cultivo sobre a nutrição mineral (N-total, P, K, Ca e Mg) da parte aérea de plantas de *Coffea canephora* Pierre.

Foram utilizadas estacas da espécie *C. canephora* Pierre (clone 07), maturação média, provenientes da Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel da Palha Ltda (COOABRIEL), São Gabriel da Palha, ES, coletadas dos ramos ortotrópicos crescidos de plantas matrizes recepadas. As estacas com 180mm de altura, em média, contendo um par de folhas, cortadas ao meio, foram enraizadas em recipientes de 50mL contendo vermiculita como substrato. Após 60 dias, as estacas apresentaram um comprimento de raiz em torno de 20mm. Nessa época, as estacas foram selecionadas pelo seu

vigor e tamanho do sistema radicular. Em seguida, foram transplantadas para os diferentes volumes de recipientes, segundo as condições experimentais.

As estacas foram cultivadas em recipientes de policloreto de vinila (PVC), de coloração preta de diferentes volumes (Tabela 1), contendo substrato do tipo Plantmax®. O experimento foi realizado sob estrutura telada, com 50% de interceptação de fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO), em Campos dos Goytacazes (41°15'O; 21°27'S). Estas estacas foram submetidas a um ambiente com nebulização intermitente, em intervalos de 10 minutos, e cada bico nebulizador uma vazão de 1,8Lh⁻¹, totalizando 28,8Lh⁻¹ na área experimental. O experimento foi conduzido de agosto (2000) a março (2001).

A partir da 17ª SAT (semanas após transplântio), foi adicionada ao substrato, semanalmente, solução nitrogenada, na concentração de 50mg NH₄SO₄ L⁻¹ de substrato. Entre a 22ª e a 28ª SAT, foi aplicada, via água de irrigação, solução nutritiva completa (SNC), contendo Ca(NO₃)₂ 2mM; KH₂PO₄ 0,5mM, KNO₃ 2,5mM, NH₄NO₃ 1mM, MgSO₄ 1mM, FeEDTA 40μM, MnSO₄.H₂O 5μM, ZnSO₄.7H₂O 2 μM, CuSO₄.5H₂O 0,5μM, NH₄Mo₇O₂₄.4H₂O 0,086μM e KCl 50μM.

No local do experimento, as temperaturas máxima, mínima e média do ar e a umidade relativa (UR) foram monitoradas, entre as 8h e às 17h, por meio de um termohigrômetro modelo 450, Spectrum Technologies, Inc., Illinois, USA. O fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) no local foi monitorado com o auxílio de Quantum Data Logger. Todos os sensores estavam acoplados a um coletor de dados e as informações foram armazenadas a cada uma hora.

Tabela 1 - Características dos recipientes de cultivo

Volume do recipiente (ml)	Altura (H) (mm)	Diâmetro (φ) (mm)	Área da seção (mm ²)	Área da seção/Altura (mm)
50	123,45	26,76	168,05	1,36
100	148,88	36,29	227,9	1,53
200	131,4	50,57	317,58	2,42
300	193,73	52,18	327,69	1,69
3400	308,25	132,41	1935,81	6,28

A análise da composição mineral da parte aérea das plantas foi feita por meio de amostragens, as quais foram feitas aos 60, 90, 120, 150, 180 e 230 dias após a implantação do experimento.

Após a coleta, as partes aéreas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para o laboratório onde foram limpas com algodão embebido em água desionizada. Após estes procedimentos, a parte aérea foi seca em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 70°C, durante 48 horas. Após a secagem, o material foi triturado em moinho (tipo Wiley) com peneira de 20 *mesh* e armazenado em frascos hermeticamente fechados.

Foram analisados os teores de nitrogênio total (N-total), o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg). As análises foram realizadas de acordo com metodologias descritas por Malavolta & Malavolta (1989) e Jones Jr. *et al.* (1991), com modificações propostas por Monnerat¹.

O N-total foi determinado segundo o método de Micro-Kjeldahl (JONES JR. *et al.*, 1991), após submeter o tecido

vegetal à digestão sulfúrica. O P, determinado colorimetricamente pelo método do molibdato, e o K, por espectrofotometria de emissão de chama, foram determinados no extrato obtido a partir da digestão sulfúrica. O Ca e o Mg foram quantificados, após oxidação do material vegetal, pela digestão nitro-perclórica (HNO₃ e HClO₄), por espectrofotometria de absorção atômica.

O experimento foi realizado em parcela subdividida, em que a parcela foi o volume e a subparcela o tempo. O delineamento foi o de blocos ao acaso, com 6 repetições. Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação aos teores de N-total da parte aérea das plantas crescidas nos diferentes volumes, observa-se um decréscimo no teor de N-total, nas plantas crescidas em todos os volumes, até a 20ª SAT (Figura 1). Entretanto, uma exceção, na 12ª SAT foi verificada nas plantas crescidas no recipiente de 3.400mL e para as plantas nos recipientes de 100mL, que não apresentaram diferenças ao longo do tempo. O decréscimo

deste nutriente, observado até a 20ª SAT, pode ser devido à lixiviação do nitrogênio pela água de irrigação, mesmo com a aplicação deste elemento mineral, semanalmente, entre a 17ª e a 22ª SAT. Segundo Marschner (1995), este nutriente mineral tem alta mobilidade, o que fortalece a informação citada acima. Após a 20ª SAT, verificou-se um incremento nos teores desse nutriente para todos os recipientes de cultivo, devido à aplicação do mesmo.

Em relação ao baixo teor de N-total na parte aérea pode ser, ainda, devido à extração deste pelas plantas, sofrendo o efeito diluição com o crescimento da parte aérea, o qual, possivelmente, não foi repostado pelo substrato. Estes fatos podem ser comprovados, pois se observa um valor inferior do teor deste nutriente, na 20ª SAT, nas plantas crescidas nos recipientes de 3.400mL. A partir da 22ª SAT, na qual se iniciou a aplicação de solução nutritiva via água de irrigação, torna-se difícil explicar se a elevada concentração de N-total na parte aérea das plantas de *C. canephora* foi devida à absorção do nutriente mineral pelo sistema radicular ou pela parte aérea, uma vez que a solução nutritiva pode ter atingido o substrato, possibilitando a absorção radicular. Ainda, o maior teor deste nutriente mineral, verificado após a 22ª SAT, poderá ser devido ao efeito sinérgico da absorção foliar e radicular.

Alguns trabalhos têm relatado o efeito do confinamento do sistema radicular sobre o teor de N, em algumas espécies de plantas, como em pessegueiros (RICHARDS & ROWE, 1977), em plantas de trigo (PETERSON *et al.*, 1984, RAHMAN *et al.*, 1999), em *Euonymus kiautschovica* Loes. 'Sieboldiana' (DUBIK

et al., 1990), em macieiras (BAR-YOSEF *et al.*, 1988), em *Plantago major* (WHITFIELD *et al.*, 1996) e em mamoeiros (CAMPOSTRINI *et al.*, 1999). Nestes trabalhos, são relatadas reduções nos teores deste nutriente na parte aérea de plantas submetidas ao confinamento do sistema radicular. Ran *et al.* (1992) observaram em pessegueiros e Bar-Yosef *et al.* (1988) em macieiras que as plantas submetidas ao confinamento radicular absorveram menor quantidade de N, por unidade de tempo, em relação às plantas crescidas em recipientes de maior volume. Ran *et al.* (1992) propuseram que o teor deste nutriente mineral mantém-se constante na parte aérea das plantas. Os autores relataram, então, que essa manutenção do teor de N proporcionou, às plantas crescidas em recipientes de menor volume, menor quantidade de matéria seca, em comparação às plantas crescidas nos maiores volumes. O sinal para a redução na taxa de crescimento, com o objetivo de manter constantes os teores de N, poderia, segundo os autores, ser mediado pelo balanço hormonal entre ABA/Citocinina no dossel. Estes mesmos autores propuseram que a concentração deste fitohormônio na parte aérea está relacionada com o volume do sistema radicular.

Os teores de N-total aumentaram após aplicação de SNC. Provavelmente, o nutriente mineral N, na espécie *C. canephora*, seja absorvido pelas partes mais velhas das raízes, uma vez que o aumento foi verificado mesmo nos recipientes de pequeno volume, onde praticamente não havia a presença de raízes novas.

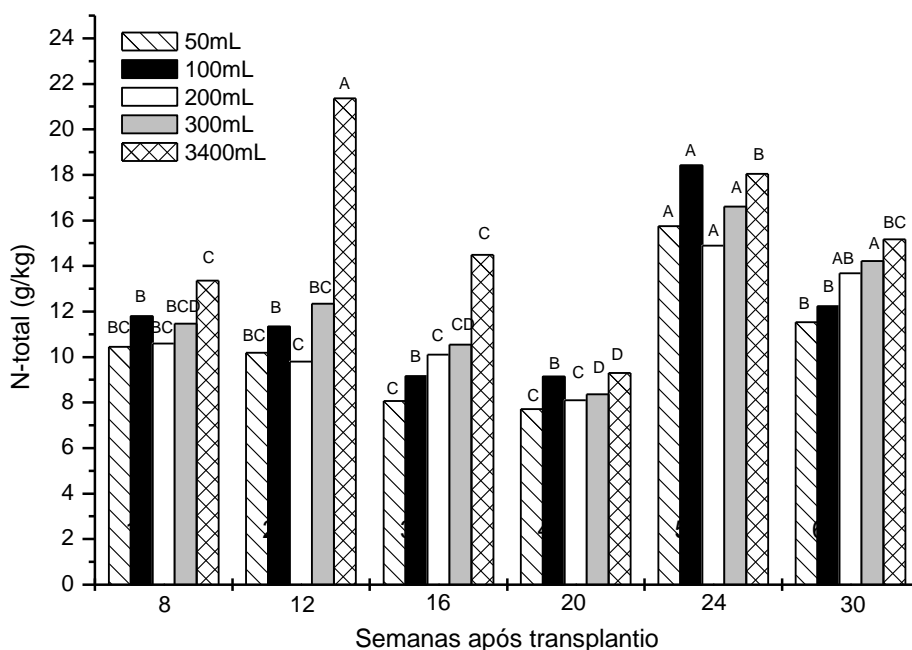


Figura 1 - Teores de nitrogênio total (N-total) em plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes correspondentes a cada uma das semanas após o plantio. Aplicações de solução nitrogenada (N) realizadas da 17ª até a 22ª e solução nutritiva completa (SNC) da 22ª à 30ª SAT. Cada barra corresponde à média de 6 repetições. As letras diferentes indicam diferenças entre as médias de cada volume ao longo do tempo

Os dados dos teores de P na parte aérea das plantas de *C. canephora* são apresentados na figura 2. Observa-se que, após a aplicação de solução nutritiva, via água de irrigação (a

partir da 20ª SAT), as plantas crescidas nos recipientes de 50, 100, 200 e 300mL não apresentaram incremento nos teores de P, diferente do verificado para o N-total. Este fato pode

demonstrar que o confinamento do sistema radicular pode ter sido a causa dessa redução nos teores de P na parte aérea, uma vez que, devido aos baixos teores de P em solução, as remoções pela lixiviação é mínima, tendo alta tendência da adsorção do P ao substrato. A justificativa para os maiores teores de P na parte aérea das plantas crescidas nos recipientes de 3.400mL, após a aplicação de SNC, possivelmente seja devido à maior quantidade de raízes finas nestes recipientes. Esse tipo de raiz é essencial na absorção de água e nutrientes (HAMEED *et al.*, 1987). Segundo Hoffmann & Jungk (1995), o comprimento e o número de raízes laterais são importantes na absorção deste nutriente mineral, pois essas raízes aumentam o acesso do P do solo por unidade de raiz.

Os menores valores de área, de volume e de massa seca de raízes nas plantas crescidas nos recipientes de menor volume (dados apresentados em TORRES NETTO *et al.*, 2006) podem explicar os menores teores de P na parte aérea das

plantas nos recipientes de 50, 100 e 200mL, após a 22ª SAT. Este pode ser devido à baixa mobilidade do P, sendo de grande importância a quantidade de raízes finas, menor nestas plantas (dados apresentados em TORRES NETTO *et al.*, 2006), diminuindo o acesso das plantas ao P. Essa menor produção de raízes finas e menor produção de raízes laterais, em plantas sob confinamento do sistema radicular, também foi verificada por Hameed *et al.* (1987), Tschaplinski & Blake (1985), Charlton (1991), Ran *et al.* (1992), Rieger & Marra (1994).

Em alguns trabalhos relacionados ao confinamento do sistema radicular, foram observadas reduções nos teores de P na parte aérea de diversas espécies, como em *Euonymus kiautschovica* Loes. 'Sieboldiana' (DUBIK *et al.*, 1990), em pessegueiros (WILLIAMSON *et al.*, 1992 e RIEGER & MARRA, 1994), em mamoeiros (CAMPOSTRINI *et al.*, 1999) e em plantas de trigo (RAHMAN *et al.*, 1999).

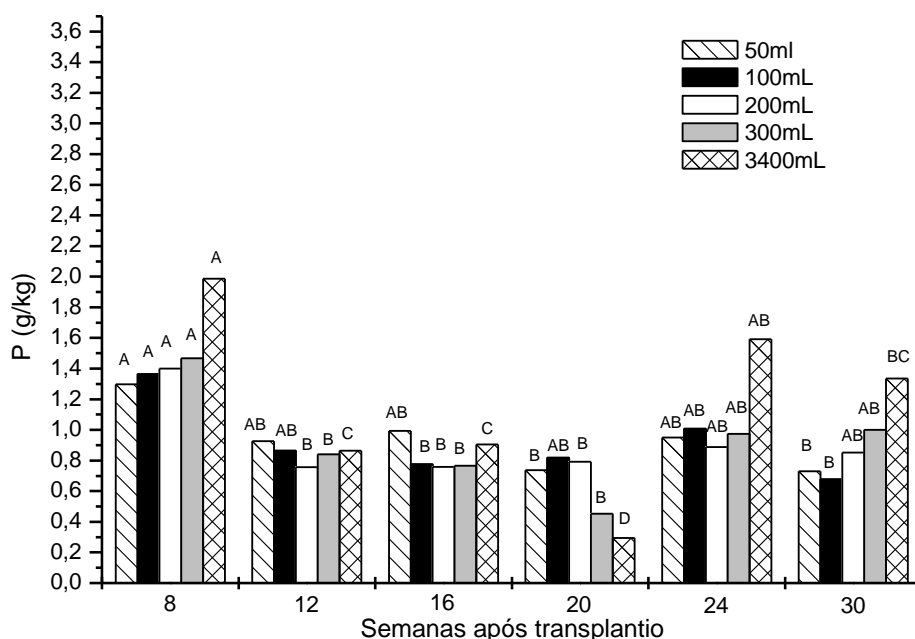


Figura 2 - Teores de fósforo (P) em plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes correspondentes a cada uma das semanas após o plantio. Aplicações de solução nitrogenada (N) da 17ª à 22ª e solução nutritiva completa (SNC) da 22ª à 30ª SAT. Cada barra corresponde à média de 6 repetições. As letras diferentes indicam diferenças entre as médias de cada volume ao longo do tempo

Para os teores de K, observa-se que as plantas crescidas nos recipientes de 3400ml e 300ml apresentaram uma tendência de crescimento nos valores dos teores de K até a 16ª SAT (Figura 3). Este fato sugere que este incremento no teor de K na parte aérea dessas plantas (recipientes de 300 e 3.400mL) pode ser explicado pelo maior volume de substrato explorado pelas raízes. Após essa época, entre a 16 e a 20ª SAT observa-se uma queda no teor de K, este pode ser justificado pela provável falta deste nutriente mineral no substrato. O incremento dos teores, após a 20ª SAT, em todos os recipientes de cultivo, pode ser explicado pelo fornecimento deste nutriente pela solução nutritiva aplicada via água de irrigação, entre a 22ª e a 28ª SAT.

No período da 22ª à 28ª SAT, este nutriente, assim como o N-total, pode ter sido absorvido pela via foliar e/ou pela absorção radicular. Em relação aos recipientes de 50, 100 e 200, foi observado um decréscimo de K até a 20ª SAT em

relação aos demais recipientes, semelhante aos teores de N-total. Os menores valores do teor de K na parte aérea das plantas crescidas nesses recipientes podem ser explicados pelo efeito do confinamento do sistema radicular e/ou pela lixiviação do nutriente pela água da irrigação, em relação aos recipientes de 300 e 3.400mL. Dubik *et al.* (1990) relataram que o confinamento do sistema radicular pode comprometer a absorção deste nutriente mineral por meio de alterações na anatomia da raiz. Foram observadas reduções nos teores de K em pessegueiros (RIEGER & MARRA, 1994, BOLAND *et al.*, 2000), em maracujazeiros (MENZEL *et al.*, 1994), em tomateiros (BAR-TAL *et al.*, 1995 e BAR-TAL & PRESSMAN, 1996), em mamoeiros (CAMPOSTRINI *et al.*, 1999) e em plantas de trigo (RAHMAN *et al.*, 1999) crescidas em recipientes que propiciaram um confinamento do sistema radicular.

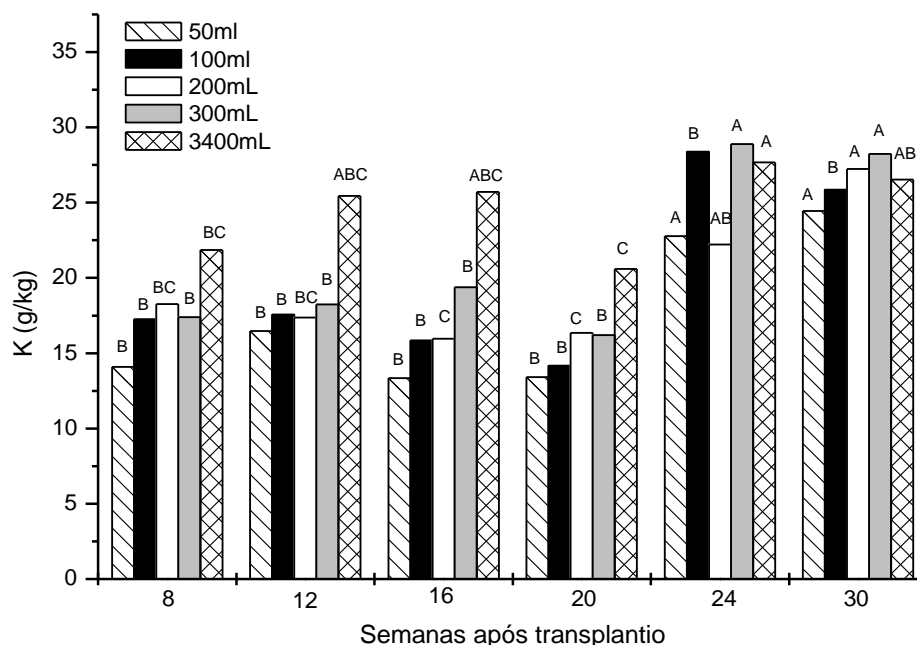


Figura 3 - Teores de potássio (K) em plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes correspondentes a cada uma das semanas após o plantio. Aplicações de solução nitrogenada (N) da 17^a à 22^a e solução nutritiva completa (SNC) da 22^a à 30^a SAT. Cada barra corresponde a média de 6 repetições. As letras diferentes indicam diferenças entre as médias de cada volume ao longo do tempo.

Ao se efetuar a análise geral dos teores de Ca na parte aérea das plantas crescidas em todos os volumes de recipientes de cultivo, observa-se um aumento nos teores até a 16^a SAT (Figura 4). Após a 20^aSAT, observa-se um decréscimo nos teores em todos os recipientes de cultivo, mesmo após o início da aplicação de SNC (da 22^a à 28^aSAT) sendo este mais acentuado nos recipientes de 200, 300 e 3400mL. As justificativas para os valores mais altos nos teores de Ca nas plantas crescidas nos recipientes de menor volume podem ser devidas às alterações na absorção de Ca. Vários autores sugerem que alterações ambientais podem aumentar o influxo de Ca e elevar as concentrações de Ca livre no citossol em várias situações como aumento de ácido abscísico (ABA) (TESTER, 1990), de ácido indol acético (IAA) (FELLE, 1988), de luz (ROBLIN *et al.*, 1989) e de estresses mecânicos ou de injúrias (RINCON & HANSON, 1986). Esse aumento no teor de Ca citossólico, segundo Roberts & Harmon (1992), altera os padrões de crescimento e pode diminuir, como exemplo, a altura das plantas. Entretanto, vários autores, estudando os efeitos do confinamento radicular sobre o teor de Ca na parte aérea, observaram valores mais baixos nos teores deste nutriente mineral em *Euonymus kiautschovica* Loes. 'Sieboldiana' (DUBIK *et al.*, 1990), em pessegueiros (RIEGER & MARRA, 1994), em maracujazeiros (MENZEL *et al.*, 1994), em plantas crescidas sob

confinamento do sistema radicular. Choi *et al.* (1997), trabalhando com tomateiros, observaram que os teores de Ca nas folhas mais novas das plantas crescidas sob confinamento do sistema radicular apresentaram reduções severas nas concentrações deste nutriente mineral. Os mesmos autores verificaram que as raízes e as folhas mais velhas das plantas confinadas apresentaram teores de Ca mais altos em relação às plantas controle. Este fato foi justificado pelo comprometimento do transporte do íon Ca⁺⁺ das raízes para a parte aérea. Alguns autores sugerem que essa redução no transporte do cálcio seja devida a mecanismos que regulem o seu transporte, com o objetivo de manter uma baixa concentração deste nutriente na seiva do floema. Essa baixa concentração, segundo Fink (1991), é proveniente da precipitação de Ca como oxalato nos tubos crivados.

A diluição do conteúdo de Ca, devido ao crescimento, é outro mecanismo de manutenção dos baixos níveis de Ca no tecido vegetal. Este fato pode explicar os decréscimos acentuados deste nutriente mineral nas plantas crescidas nos recipientes de 300 e 3.400mL. Foi verificado que as plantas crescidas nos recipientes de 300 e 3.400mL apresentaram valores elevados das variáveis de crescimento estudadas (CNC, H, NF, AF, MSPA, AR, MSR, VR) (resultados mostrados em TORRES NETTO *et al.*, 2006).

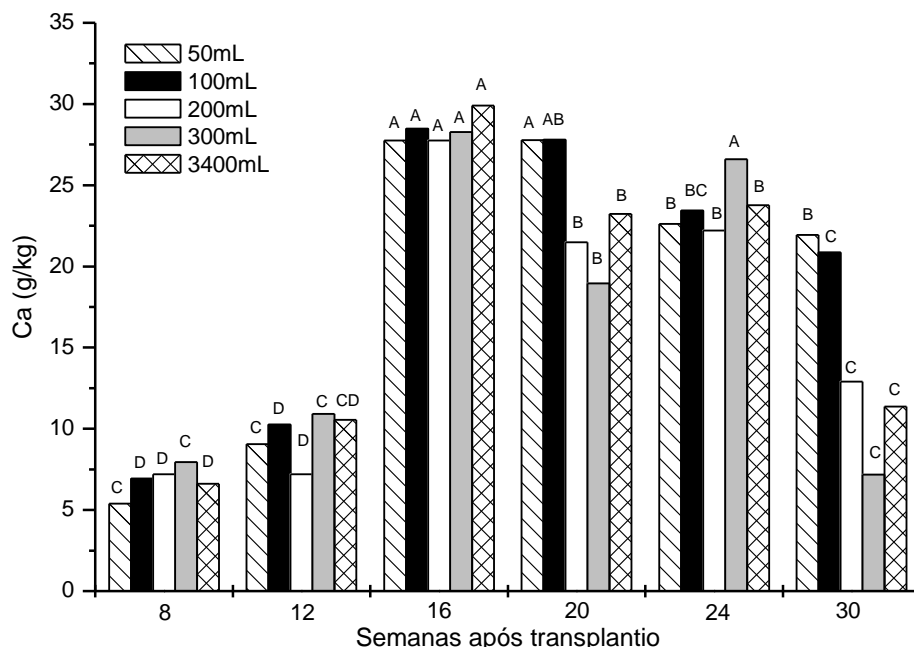


Figura 4 - Teores de cálcio (Ca) em plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes correspondentes a cada uma das semanas após o plantio. Aplicações de solução nitrogenada (N) da 17^a à 22^a e solução nutritiva completa (SNC) da 22^a à 30^a SAT. Cada barra corresponde à média de 6 repetições. As letras diferentes indicam diferenças entre as médias de cada volume ao longo do tempo

Foi observada uma grande similaridade nos teores de Mg nas plantas cultivadas em todos os volumes de recipientes em cada época de análise (Figura 5). Essa não-variação nos teores de Mg foi encontrada também por Choi *et al.* (1997) em tomateiros. A similaridade dos teores de Mg das plantas crescidas em todos os recipientes de cultivo pode ser justificada, segundo Lange *et al.* (1987), pela remobilização do Mg, das

folhas velhas para as folhas mais novas, quando há insuficiente suprimento deste nutriente mineral pelas raízes. Segundo estes autores, essa exportação de Mg, associada ao comprometimento da absorção deste nutriente, pode induzir a abscisão foliar precoce. Essa abscisão foliar foi verificada nas plantas de *C. canephora* crescidas nos menores volumes (resultados mostrados em TORRES NETTO *et al.*, 2006).

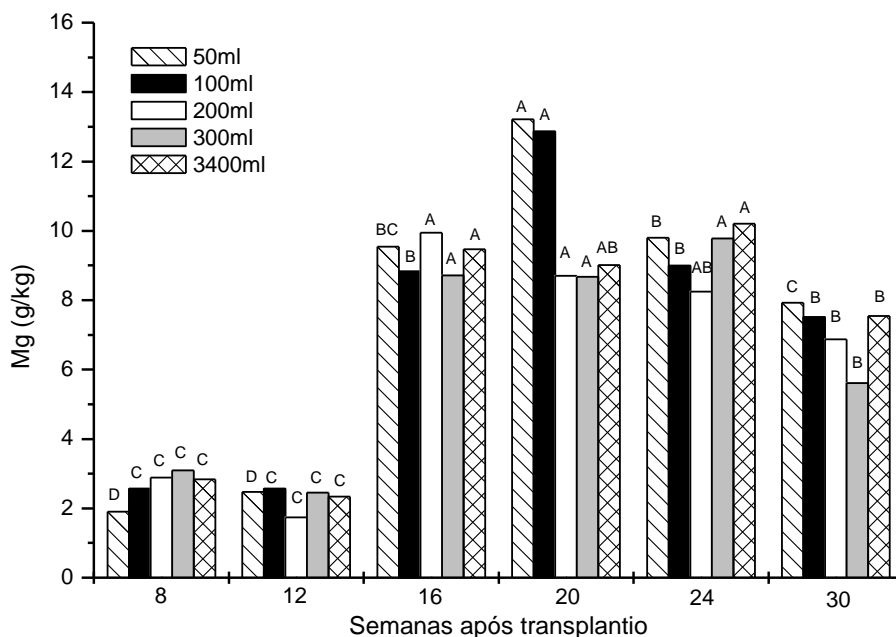


Figura 5 - Teores de magnésio (Mg) em plantas de *C. canephora* Pierre cultivadas em cinco volumes de recipientes correspondentes a cada uma das semanas após o plantio. Aplicações de solução nitrogenada (N) da 17^a à 22^a e solução nutritiva completa (SNC) da 22^a à 30^a SAT. Cada barra corresponde a média de 6 repetições. As letras diferentes indicam diferenças entre as médias de cada volume ao longo do tempo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAR-TAL, A.; BAR-YOSEF, B.; KAFKAFI, U. Pepper transplant response to root volume and nutrition in the nursery. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.989-995, 1990.
- 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-TAL, A.; PRESSMAN, E.J. Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry-matter production, cation uptake, and blossom-end rot in greenhouse tomato. **Journal American Society of Horticultural Science**. Alexandria, v.121, n.4, p.649-655, 1996.
- 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.
- BOLAND, A.M.; JERIE, P.H.; MITCHELL, P.D.; GOODWIN, I.; CONNOR, D.J. Long-term effects of restrict root volume and regulated deficit irrigation on peach: I. Growth and mineral nutrition. **Journal American Society of Horticultural Science**. Alexandria, v.125, n.1, p.135-142, 2000.
- 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.
- CAMPOSTRINI, E.; SILVA, P.C. da; YAMANISH, O.K. Efeito da restrição mecânica no sistema radicular sobre o estado nutricional de quatro genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.21, n.3, p.327-332, 1999.
- CARMI, A.; HEUER, B. The role of roots in control of bean shoot growth. **Annals of Botany**, Bristol, v.48, p.519-527, 1981.
- CHARLTON, W.A. Lateral root initiation. In: WARSEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAF, U. (eds). **Plant roots – the hidden half**. New York: Marcel Dekker, Inc. 1991, p.103-128.
- CHOI, J.H.; CHUNG, G.C.; SUH, S.R. *et al.* Suppression of calcium transport to shoots by root restriction in tomato plants. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v.38, p.495-498, 1997.
- COLEMAN, J.R.; McCONNAUGHAY, K.D.M.; BAZZAZ, F.A. Elevated CO₂ and plant nitrogen use: Is reduced tissue nitrogen concentration size dependent. **Oecologia**, Berlin, v.93, p.195-200, 1993.
- 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.
- FELLE, H. Cytoplasmic free calcium in *Riccia fluitans* L. and *Zea mays* L.: Interaction of Ca²⁺ and pH? **Planta**, Berkeley, v.176, p.248-255, 1988.
- FINK, S. Comparative microscopical studies on the patterns of calcium oxalate distribution in the needles of various conifer species. **Botanic Acta**, New Jersey, v.104, p.306-315, 1991.
- 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.
- HOFFMANN C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**, Crawley, v.176, n.1, p.15-25, 1995.
- JONES, JR.; BENTON, J.; WOLF, B. *et al.* **Plant Analysis Handbook**. USA: Micro-Macro Publishing. USA. 1991. 213p.
- KRIZEK, D.T.; CARMI, A.; MIRECKII, R.M. *et al.* Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses f soybean. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.36, p.25-38, 1995.
- LANGE, O.L.; ZELLNER, H.; GEBEL, J. *et al.* Photosynthetic capacity, chloroplast pigments, and mineral content of the previous year's needles with or without the new flush: analysis of the forest-decline phenomenon of needle bleaching. **Oecologia**, Berlin v.73, p.351-357, 1987.
- MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M.L. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: FEPAP, 1989. p.227-309.
- MANDRE, O.; RIEGER, M.; MYERS, S.C. *et al.* Interaction of root confinement and fruiting in peach. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Standford, v.120, n.2., p.228-234, mar, 1995.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, San Diego, 1995, 889p.
- MARSCHNER, H.; KIRBY, E.A.; CAKMAK, I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.47, p.1255-1263, 1996.
- MENZEL, C.M.; TURNER, D.W.; DOOGAN, V.J. *et al.* Root shoot interactions in passionfruit (*Passiflora* sp.) under the influence of changing root volumes and soil temperatures. **Journal of Horticultural Science**, Wellesbourne, v.69, n.3, p.553-564, 1994.
- 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.

- PETERSON, C.M.; KLEPPER, B.; PUMPHREY, F.V. et al. Restricted rooting decrease tillering and growth of winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.861-863, 1984.
- RAHMAN, M.H.; KAWAI, S.; ALAM, S. et al. Effect of soil compactation on plant growth in an andisol. **Japanese Journal Tropical Agriculture**, Kanagawa, v.43, n.3, p.129-135, 1999.
- RAN, Y.; BAR-YOSEF, B.; EREZ, A. Root volume influence on dry matter production and partitioning as related to nitrogen and water uptake rates by peach tree. **Journal of Plant Nutrition**. Philadelphia, v.15, p.713-726, 1992.
- RAY, J.D. e SINCLAIR, T.R. The effect of pot size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, vol. 49, p.1381-1386, 1998.
- 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.
- RINCON, M. e HANSON, J.B. Controls on calcium ion fluxes in injured or shocked corn root cells: importance of proton pumping and cell membrane potential. **Physiologia Plantarum**, Lund, n.67, p.576-583, 1986.
- ROBBINS, N.S.; PHARR, D.M. Effect of restricted root growth on carbohydrate metabolism and whole plant growth of *Cucumis sativus* L. **Plant Physiology**, Bethesda, n.87, p.409-413, 1988.
- ROBERTS, D.M.; HARMON, A.C. Calcium-modulated proteins: targets of intracellular calcium signals in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, California, v.43, p.375-414, 1992.
- ROBLIN, G.; FLEURAT-LESSARD, P.; BONMORT, J. Effects of compounds affecting calcium channels on phytochrome – and blue pigment-mediated pulvinar movements of *Cassia fasciculata*. **Plant Physiology**, Bethesda, v.90, p.697-701, 1989.
- RUFF, M.S.; KRIZEK, D.T.; MIRECKI, R.M.; INOYE, D.W. Restricted root zone volume: Influence on growth and development of tomato. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.112, n.15, p.763-769, 1987.
- SCHAFFER, B.; WHILLEY, A.W.; SEARLE, C. Atmospheric CO₂ enrichment, root restriction, photosynthesis, and dry-matter partitioning in subtropical and tropical fruit crops. **Hortscience**, Alexandria, v.34, n.6, p.1033-1037, 1999.
- TESTER, M. Plant ion channels: Whole-cell and single-channel studies. **New Phytologist**, Londres, v.114, p.305-340, 1990.
- TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; GOMES, M.M. de A. Efeitos do confinamento radicular nas medidas biométricas e assimilação de CO₂ em plantas de *Coffea canephora* Pierre. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.3, p.295-303, 2006.
- 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.
- WHITFIELD, C.P.; DAVISON, A.W.; ASHENDEN, T.W. Interactive effects of ozone and soil volume on *Plantago major*. **New Phytologist**, Londres, v.134, 287-294, 1996.
- WILLIAMSON, J.D., COSTON, D.C. e CORNELL, J.A. Root restriction affects shoot development of peach in a high-density orchard. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.117, p.362-367, 1992.