

## Trocas gasosas, relações hídricas e eficiência fotoquímica em mudas clonais de eucalipto com permanência prolongada em tubetes

Gas exchanges, water relations and photochemical efficiency in clonal rooted cuttings with prolonged times in tubes

Fabio Afonso Mazzei Moura de Assis Figueiredo<sup>1</sup>,  
José Geraldo de Araújo Carneiro<sup>2</sup>, Ricardo Miguel Penchel<sup>3</sup>,  
Eliemar Camostrini<sup>2</sup>, José Tarcísio Lima Thiebaut<sup>4</sup> e Deborah Guerra Barroso<sup>2</sup>**Resumo**

O período de rotação das mudas de eucalipto nos viveiros florestais, dependendo do material genético, da região e da época do ano, pode variar de 70 a 100 dias ou mais. Por motivos diversos, mudas aptas ao plantio deixam de ser plantadas, permanecendo no setor de rustificação por longos períodos, algumas vezes sujeitas a perdas. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do tempo de permanência de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em tubetes plásticos de 53 cm<sup>3</sup> em condição de viveiro sobre as trocas gasosas, as relações hídricas e a eficiência fotoquímica. Para tanto, foram utilizadas mudas de três clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, denominados 11, 61 e 75. As miniestacas foram transplantadas em recipientes de plástico rígido e cônico, com 53 cm<sup>3</sup>, em intervalos de 30 dias, num total de cinco transplantios, sendo o quinto realizado 150 dias após o primeiro. Foram estabelecidos cinco tratamentos: mudas com 60, 90, 120, 150 e 180 dias após o estaqueamento (DAE). As mudas, ao longo do tempo de cultivo passaram por todos os setores de crescimento do viveiro: enraizamento em casa de vegetação, crescimento à sombra e setor de rustificação. Para as mudas com 90, 120, 150 e 180 DAE, estas permaneceram respectivamente por um período de 30, 60, 90 e 120 dias em condição de céu aberto na praça de rustificação. As mudas foram avaliadas em relação às trocas gasosas, rendimento quântico máximo do fotossistema II, potencial hídrico foliar e a eficiência intrínseca e eficiência instantânea do uso da água. Nos três clones de eucalipto estudados, o maior tempo de permanência das mudas em tubetes de 53 cm<sup>3</sup> resultou em reduções na capacidade fotossintética, sendo esta redução associada aos efeitos estomáticos e aos efeitos não-estomáticos. As mudas com maior tempo de cultivo nos recipientes apresentaram maior controle estomático e com isso maior eficiência intrínseca do uso da água. Os clones estudados apresentaram respostas diferenciadas em relação aos efeitos do tempo de permanência no recipiente de cultivo, tendo o clone 11 apresentado menor susceptibilidade aos efeitos deletérios do longo período de confinamento do sistema radicular, e os clones 61 e 75 apresentaram maior sensibilidade.

**Palavras-chave:** restrição radicular, *Eucalyptus* spp., fotossíntese, produção de mudas.

**Abstract**

The rotation period of eucalypt cuttings in nurseries depends on the genetic material, region and on the season of the year, and generally requires 70 to 100 days or more. For several reasons, viable cuttings are not planted out and remain in the nursery for long periods, and are subject to losses. This work evaluated the effect of the residence period of 3 clonal cuttings of the hybrid *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* (named 11, 61 and 75) grown in 53 cm<sup>3</sup> rigid conic plastic tubes in the nursery, on gas exchanges, water relations and photochemical efficiency. Five treatments were established after the initial 30 day transplant period: 60, 90, 120, 150 and 180 days after transplanting (DAT). The cuttings were rotated over different sectors of the nursery: rooting in greenhouse, shadow sector and hardness sector. The 90, 120, 150 and 180 DAT cuttings remained, respectively, for 30, 60, 90 and 120 days in open air at the hardening area. Gas

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor em Produção Vegetal. UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Av. Alberto Lamego, 2000, 28013-602, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. E-mail: [fabio\\_uenf@yahoo.com.br](mailto:fabio_uenf@yahoo.com.br).

<sup>2</sup>Engenheiro Florestal, Professor Doutor Departamento de Ciências Florestais. UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Av. Alberto Lamego, 2000, 28013-602, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. E-mail: [jgacarneiro@gmail.com](mailto:jgacarneiro@gmail.com), [campostenator@gmail.com](mailto:campostenator@gmail.com); [deborah@uenf.br](mailto:deborah@uenf.br).

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, Pesquisador PhD. em Biologia Vegetal. Fibria Celulose AS. Rod. SP-066, km 84, 12340-010, Jacareí, São Paulo. E-mail: [rp@fibria.com.br](mailto:rp@fibria.com.br)

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor em Ciência Animal. UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Av. Alberto Lamego, 2000, 28013-602, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. E-mail: [jtt1512@uenf.br](mailto:jtt1512@uenf.br)

exchanges, maximum quantum yield of the photosystem II, leafwater potential, the intrinsic water efficiency and the instantaneous water use efficiency were measured on the cuttings. The longest residency periods reduced the photosynthetic performance of all clones and these reductions were linked to stomatal and non-stomatal effects. Clones grown for an extended period had greater stomatal control, therefore higher intrinsic efficiency of the use of water. The 3 clones had different responses to the residency periods in tubes. Clone 11 was the least sensitive to the deleterious effects of the restricted root system over the long residency periods, while Clones 61 and 75 were the most adversely affected.

**Keywords:** root restriction, *Eucalytus* spp., photosynthesis, forest nursery.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, empresas de base florestal utilizam a propagação vegetativa para a produção das mudas de eucalipto, sendo a técnica de miniestaquia amplamente empregada nos grandes viveiros florestais (Xavier et al., 2009). Este processo de propagação é definido pelas etapas de coleta, preparo e transplante das miniestacas para tubetes com 50 cm<sup>3</sup>; um período de enraizamento em casas de vegetação com nebulização intermitente seguido da aclimatização e crescimento em casa de vegetação (com redução na entrada de luz em 50 %); e um período de rustificação a pleno sol (Alfenas et al., 2009). Nestas condições, a permanência das mudas nos recipientes, dependendo do material genético, da região e época do ano, é de 70 a 100 dias até que a muda esteja apta ao plantio. Contudo, por motivos diversos, como por exemplo, a falta de chuvas e problemas silviculturais, pode ocorrer algum atraso no plantio. Desta maneira, as mudas aptas ao plantio deixam de ser plantadas no campo e permanecem no setor de rustificação por semanas, ou até meses, algumas vezes sujeitas a perdas.

Com relação ao manejo das mudas de eucalipto produzidas por semente, Reis et al. (2008) indicam o período entre 100 e 115 dias como o adequado para expedição de mudas em tubetes de 53 cm<sup>3</sup>. Mafía et al. (2005) avaliaram o período de rotação no viveiro de mudas clonais de eucalipto em tubetes de 53 cm<sup>3</sup> e verificaram que ao longo do tempo, a limitação do substrato nesse volume de recipiente afetou o acúmulo de biomassa radicular, o que paralisou o crescimento desta parte da planta. Com base em avaliações de altura, massa seca da parte aérea e raízes, os autores concluíram que o período de 80 a 110 dias é suficiente para a formação de mudas de boa qualidade. Contudo, este tempo é dependente da qualidade do material genético utilizado para a propagação.

A extensão do período de permanência da muda no recipiente de cultivo pode causar

comprometimento do sistema radicular e parte aérea, em decorrência da restrição mecânica a expansão da raiz (Choi et al., 1997; Ray; Sinclair, 1998; Whitfield et al., 1996; Yamanishi et al., 1998). Neste caso, os efeitos no comprometimento do sistema radicular sobre a parte aérea podem ser explicados em grande parte pela redução no transporte de água (Hameed et al., 1987; Tschaplinski; Blake 1985), com consequente limitação nutricional (Choi et al., 1997; Rieger; Marra, 1994) ou pelo desbalanço fitohormonal (Carmi et al., 1983; Yong et al., 2010).

Nos recipientes tradicionalmente utilizados nos viveiros florestais, o impedimento mecânico causado por meio do confinamento do sistema radicular promove a redução na taxa de divisão das células do meristema apical da raiz e decréscimo no comprimento das células expandidas (Atwell, 1988), bem como incrementa o grau de suberização das raízes (Da Matta, 1999). De fato, o impedimento mecânico do sistema radicular reduz a taxa de extensão das raízes e incrementa seu diâmetro (Gregory, 2006). Segundo Atwell (1988), este crescimento é atribuído mais ao incremento no diâmetro das células individuais do que no número de células. Ao que tudo indica, estas alterações na anatomia da raiz podem causar significativos comprometimentos morfológicos (Fageria et al., 2006) refletindo intensamente na translocação de água, fitohormônios e nutrientes minerais para a parte aérea. Em eucalipto, o impedimento mecânico do sistema radicular (de 0,4 para 4,2 MPa) causou redução no comprimento da raiz primária em 71 % e das raízes laterais em 31 % (Misra; Gibbons, 1996).

Uma vez que a restrição mecânica ao sistema radicular promove alterações no crescimento e na anatomia da raiz (Atwell, 1988; Choi et al., 1997), tais alterações podem causar comprometimentos nas trocas gasosas associadas a folha. Embora alguns relatos mostrem que a taxa fotossintética líquida tem sido incrementada com a restrição mecânica da raiz (Carmi et al., 1993), ou não-alterada (Krizek et al., 1985), outros trabalhos observaram que houve redução na assi-

milação fotossintética do carbono com o incremento da restrição mecânica (Arp, 1991; Ronchi et al, 2006; Shi et al 2008; Yong et al, 2010). A redução da taxa fotossintética líquida, sob a condição de confinamento das raízes, deve-se ao superávit de carboidratos nas folhas, em razão da diminuição da atividade do dreno demandado pelo crescimento da raiz, que está associada à diminuição do volume do recipiente de cultivo (Arp, 1991).

Contudo, Will e Teskey (1997) relataram que em plantas cultivadas em pequenos recipientes, a taxa fotossintética foi reduzida devido ao estresse hídrico. De uma maneira geral, a maior eficiência na absorção de água pela raiz está localizada cerca de 80 mm de distância do ápice radicular (Kramer; Boyer, 1995). Tal fato mostra que a maior atividade radicular relacionada à absorção de água está localizada nas raízes mais novas metabolicamente. Quando o volume do recipiente de cultivo se torna pequeno em relação ao volume radicular, o confinamento não permite que novas raízes sejam formadas. Na ausência de raízes com maior eficiência na absorção de água, a parte aérea da planta pode ficar submetida a um estresse hídrico e mineral, o que pode reduzir significativamente a assimilação fotossintética do carbono. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do tempo de permanência de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em tubetes plásticos de 53 cm<sup>3</sup>, em condição de viveiro, sobre as trocas gasosas, as relações hídricas e a eficiência fotoquímica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no viveiro setorizado, de estrutura permanente da empresa Fibria Celulose, em Aracruz-ES (19° 49' 09" S; 40° 16' 15" O). Para tanto, foram utilizadas mudas de três clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, denominados 11, 61 e 75. As mudas foram produzidas a partir de miniestacas apicais, com comprimento variando entre 8 e 10 cm e 2 mm de diâmetro. O substrato utilizado foi uma mistura composta do tipo 3:3,5:3,5 (v:v), constituída por fibra de coco, casca de arroz carbonizada e vermiculita, aplicando-se a mistura de substrato 2,0 kg m<sup>-3</sup> de osmocote (19-6-10) e 2,0 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples.

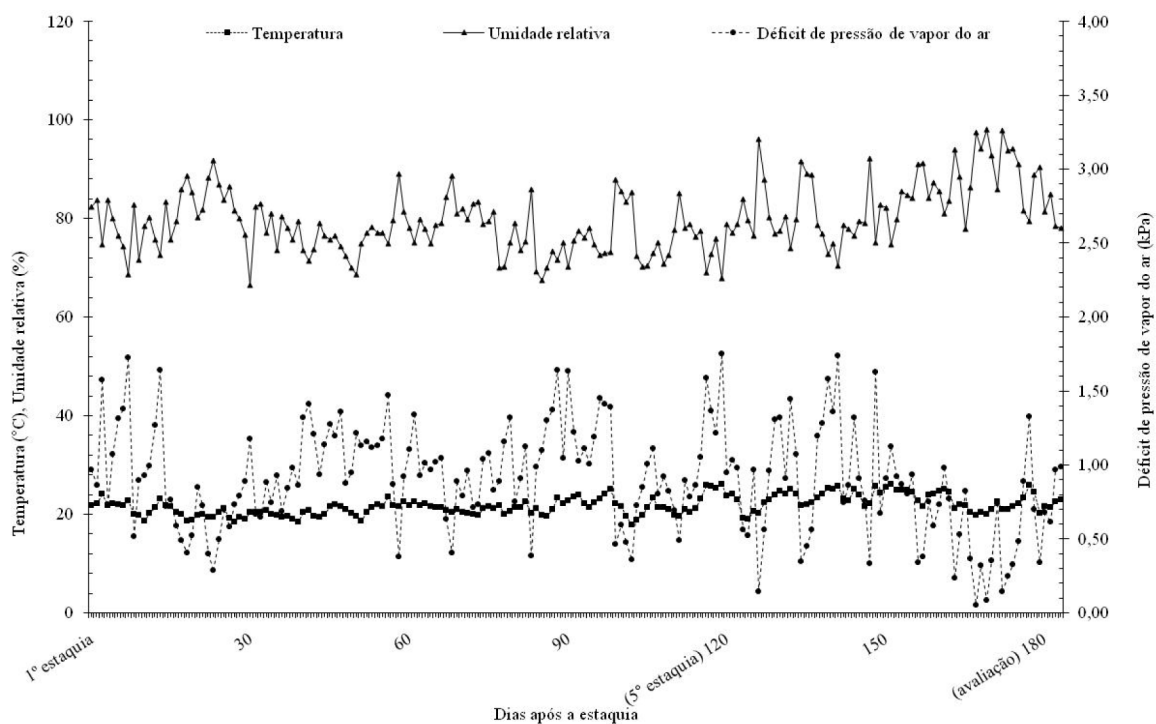
As miniestacas foram transplantadas em recipientes de plástico rígido e cônico, com 53 cm<sup>3</sup>, em intervalos de 30 dias, num total de cinco transplantios, sendo o quinto realizado 150 dias após o primeiro. Todas as mudas permaneceram durante um período de 20 a 25 dias na casa de vegetação, sob telado com 50 % de interceptação do fluxo de fótons fotossintéticos, com nebulização intermitente, para a indução do enraizamento (10 segundos de molhamento, em intervalos de 15 minutos). Após esta fase, as mudas permaneceram por mais 20 a 35 dias em casa de sombra, sob telado com 70 % de interceptação do fluxo de fótons fotossintéticos. Para as mudas com 90, 120, 150 e 180 dias após o estaqueamento (DAE), estas permaneceram respectivamente por um período de 30, 60, 90 e 120 dias em condição de céu aberto na praça de rustificação. As variáveis climáticas são apresentadas na Figura 1. Nas fases de crescimento e rustificação, a irrigação foi feita diariamente por meio de aspersores sendo a aplicação de água realizada em quantidade e intervalos variados, em função da temperatura e umidade do dia.

Para a avaliação da taxa fotossintética líquida, da condutância estomática, da transpiração, do rendimento quântico máximo do fotossistema II, do potencial hídrico foliar, da eficiência do uso da água e da eficiência intrínseca do uso da água, as mudas, nas idades de 60, 90, 120, 150 e 180 dias após a estaquia, foram selecionadas por amostragem simples ao acaso. Para tanto, foram utilizadas seis mudas por idade, de cada clone. Em todas as avaliações, foram utilizadas folhas plenamente expandidas no terceiro par, contado a partir do ápice da muda.

### Taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E)

A taxa fotossintética líquida, a condutância estomática e a transpiração foram determinadas por meio do analisador de gás infravermelho modelo LI6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). As medidas foram realizadas entre 9:00 e 10:00 horas da manhã, com o auxílio de luz artificial, com fluxo de fótons fotossintéticos ajustado para 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Durante as avaliações, a concentração de CO<sub>2</sub> na câmara foi mantida em torno de 380  $\pm$  20  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  e a área da folha analisada foi de 6 cm<sup>2</sup>.

Foram utilizadas seis mudas por idade, para cada clone, sendo avaliada uma folha por muda.



**Figura 1.** Temperatura, umidade relativa e déficit de pressão de vapor do ar durante o ciclo de produção das mudas.  
**Figure 1.** Temperature, relative humidity and vapor pressure deficit of the air during the production cycle of the cuttings.

### Rendimento quântico máximo do fotossistema II (FvFm)

O rendimento quântico máximo do fotossistema II foi obtido com o auxílio de um fluorímetro não modulado modelo PEA (Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, Norfolk, UK) e as medidas foram feitas nas mesmas mudas e folhas em que foram realizadas as análises das trocas gasosas. As mudas foram avaliadas nos períodos de 9:00 às 10:00, 12:00 às 13:00 e 15:00 às 16:00 h. Para efetuar a avaliação, as folhas foram adaptadas ao escuro por um período de 30 minutos, utilizando pinças adequadas ao equipamento segundo metodologia proposta por Strasser et al. (2000).

### Potencial hídrico foliar (PHF)

Após as avaliações das trocas gasosas e da fluorescência, o potencial hídrico foliar foi avaliado utilizando-se uma câmara de pressão, modelo Soil Moisture (Scholander et al., 1964). As medidas foram realizadas nos períodos de 9:00 às 10:00 h (nas mesmas folhas em que foram feitas as avaliações da fluorescência e das trocas gasosas), 12:00 às 13:00 e 15:00 às 16:00 h (folhas próximas à folha utilizada no horário de 9:00 às 12:00 h).

### Eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA)

A eficiência do uso da água foi obtida pela divisão entre a taxa fotossintética líquida e a transpiração ( $A/E$ ). A eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) foi obtida pela divisão entre a taxa fotossintética líquida e a condutância estomática ( $A/g_s$ ).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (idade de mudas após o estaqueamento) e seis repetições. Os dados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de variância, e, ao atenderem às pressuposições, foram submetidos à análise de variância. Dados que não apresentaram distribuição normal (eficiência intrínseca do uso da água e eficiência instantânea do uso da água) foram transformados ( $X = \log(X)$ ). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (5%) e, quando resultantes de variáveis fixas quantitativas, foram submetidas a ajustes de regressão, utilizando o software ASSISTAT 7.7 BETA. Os dados de rendimento quântico máximo do fotossistema II e potencial hídrico foliar não apresentaram distribuição normal e as transformações testadas não foram suficientes para a correção das pressuposições, sendo as médias comparadas por intervalo de confiança a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

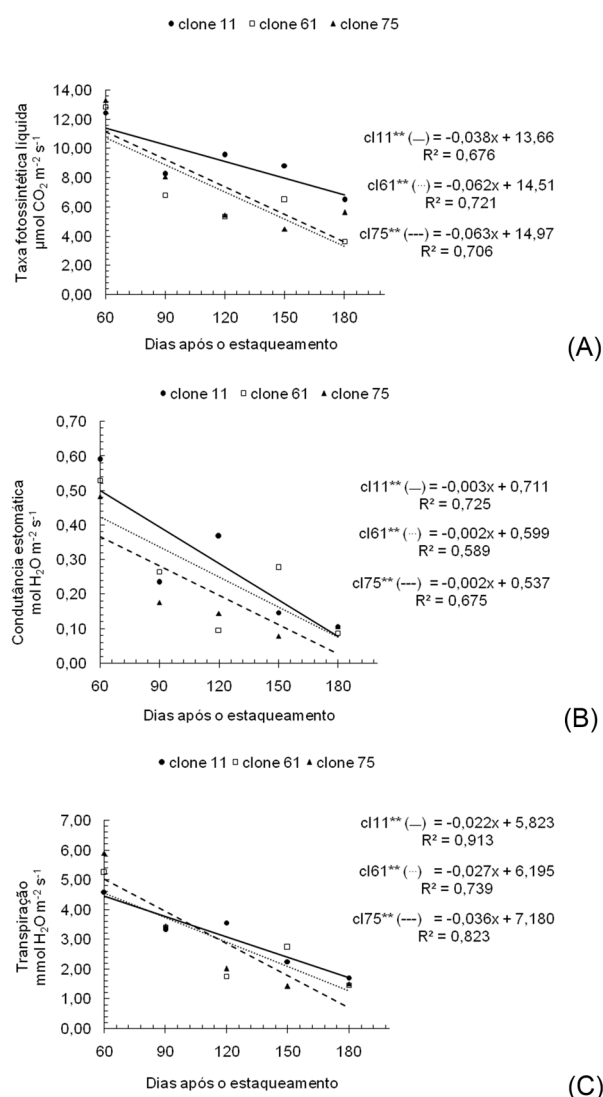
Comparativamente às mudas que permaneceram menos tempo no recipiente de cultivo (60 dias), as mudas que permaneceram mais tempo (180 dias) apresentaram uma menor taxa fotossintética (Figura 2A), evidenciando que o tempo de permanência causou comprometimento na assimilação fotossintética do carbono. O clone 11 apresentou queda de 48 % na taxa fotossintética líquida entre mudas com 60 dias e mudas com 180 dias. Os clones 61 e 75 apresentaram redução de 72 % e 58 %, respectivamente, mostrando esses dois últimos serem mais sensíveis ao confinamento do sistema radicular. A queda na taxa fotossintética das mudas corrobora com os valores de condutância estomática apresentados na figura 2B. De forma geral, as mudas com 60 dias apresentaram maior abertura estomática, independentemente do clone avaliado. Refletindo, também, em maior transpiração por parte das plantas deste tratamento (Figura 2C).

De fato, vários trabalhos têm mostrado que o confinamento do sistema radicular pode causar redução na taxa fotossintética líquida, seja por efeitos estomáticos ou não-estomáticos (Herold; McNeil, 1979; Ronchi et al, 2006; Shi et al 2008; Thomas; Strain, 1991; Yong et al, 2010).

Em várias condições de crescimento da planta, o sistema radicular pode enviar sinais para a parte aérea, e assim modular o crescimento desta parte da planta (Jackson, 1997). Estes sinais podem ser considerados como hidráulicos ou não hidráulicos (fitohormônios e água). Com relação aos sinais não hidráulicos e em condições de confinamento do sistema radicular, vários fito-hormônios têm sido quantificados, entre eles o etileno (Peterson et al, 1991), o ácido abscísico (ABA) (Hurley; Rowarth, 1995; Liu; Latimer, 1995) e as citocininas (Yong et al, 2010). Dentre estes fitohormônios, o ABA é o que está mais diretamente associado ao fechamento estomático (Davies; Zhang, 1991).

Uma das formas de avaliar os efeitos não estomáticos do processo fotossintético é por meio da avaliação da eficiência fotoquímica. Uma metodologia utilizada para avaliar esta eficiência fotoquímica é a emissão da fluorescência da clorofila no tempo (Baker, 2008). Uma das variáveis da fluorescência utilizada na avaliação da eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII) é a relação  $F_v/F_m$  (Baker, 2008; Bolhàr-Nordenkamp et al. 1989), que acordo com Rosenqvist e kooten (2003),  $F_m$  é a fluorescência máxima e  $F_v$  a fluorescência variável, sendo esta última obtida

pela diferença entre a fluorescência máxima e a mínima ( $F_0$ ) ( $F_v = F_m - F_0$ ). Segundo Strasser e Strasser (1995), esta relação mostra a capacidade com que a luz absorvida pelas moléculas de clorofilas consegue reduzir a quinona A ( $Q_a$ ). Assim, os valores desta variável em torno de 0,75 a 0,85, mostram 75 a 85 % de probabilidade de que um fóton absorvido consiga reduzir  $Q_a$ , e estes valores mostram elevada eficiência do aparato fotossintético associado ao PSII. Portanto, ao se analisar a figura 3 em comparação com a figura 2A, verifica-se que, de fato, o clone 11 apresentou menor sensibilidade ao confinamento do sistema radicular, pois além de não apresentar diferenças estatísticas entre tratamentos, nos três



**Figura 2.** Taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (B) e transpiração (C) de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em função do período de permanência no viveiro.

**Figure 2.** Net photosynthetic rate (A), stomatal conductance (B) and transpiration (C) of clonal cuttings of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* as a function of storage time period in the nursery.

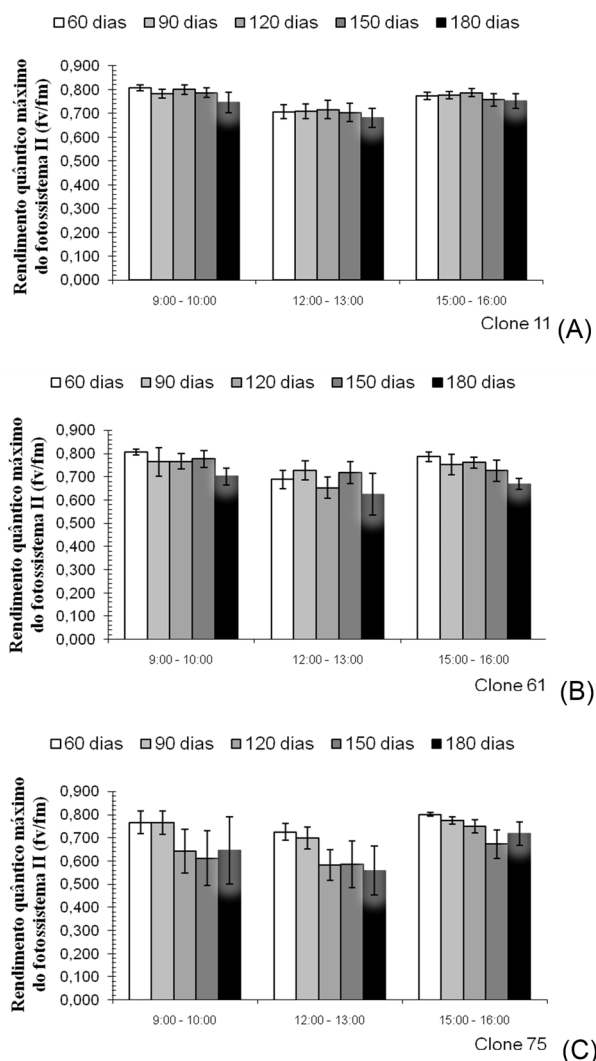
\*\*significativo a 1% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; ns não significativo

horários de avaliação, as médias apresentadas não são indicativas de danos ao fotossistema II. Resultados diferentes foram apresentados pelo clone 61, para mudas com 180 dias no primeiro e no terceiro horário de avaliação, e pelo clone 75, para mudas com 120, 150 e 180 dias após o estaqueamento, no segundo e terceiro horário de avaliação. No período mais quente do dia, compreendido entre 12:00 e 13:00 horas, todos os tratamentos, para os três clones, apresentaram valores da relação  $F_v/F_m$  abaixo de 0,75. No terceiro horário de avaliação, entre 15:00 e 16:00 horas, apenas o clone 11 apresentou recuperação nos valores da relação  $F_v/F_m$ , em todos os tratamentos. Estes resultados realçam a resposta diferenciada do clone 11, em função do confinamento do sistema radicular.

Sob condição de confinamento do sistema radicular, outros estudos têm mostrado que o decréscimo na taxa fotossintética líquida pode ser causado por efeitos não estomáticos associados ao metabolismo dos carboidratos (limitação da fotossíntese pelo produto final), pelo metabolismo associado ao nitrogênio e por meio do decréscimo na atividade da enzima Rubisco (Sato et al, 2001), bem como por meio da redução na eficiência quântica efetiva e máxima do PSII (Barja, 2003; Shi et al, 2008).

Em relação ao potencial hídrico foliar, o clone 11 (Figura 4A), em todos os horários, e o clone 75 (Figura 4C), nos horários de 9:00 às 10:00 e 15:00 às 16:00 horas, não apresentaram diferenças estatísticas. O clone 61 apresentou variação nos três horários de avaliação, sendo que no período de 9:00 às 10:00 horas as mudas com 60 dias apresentaram o maior potencial hídrico foliar (Figura 4B). Para os clones 61 e 75, mesmo nos horários de maior demanda transpiratória (12:00 às 13:00 e 15:00 às 16:00 horas) verificou-se que, em relação às mudas com permanência de 60 dias após o estaqueamento, as plantas que permaneceram por mais tempo nos tubetes (90, 120, 150 e 180 DAE) apresentaram maior potencial hídrico foliar. Este fato pode mostrar que somente um sinal químico (sinal não hidráulico) pode estar atuando no controle da condutância estomática no clone 61 e 75. Ou seja, neste estudo, não houve limitação hídrica associada ao confinamento do sistema radicular, como foi observado por Tschaplinski e Blake, (1985) em plantas de *Alnus glutinosa* Gaertn.

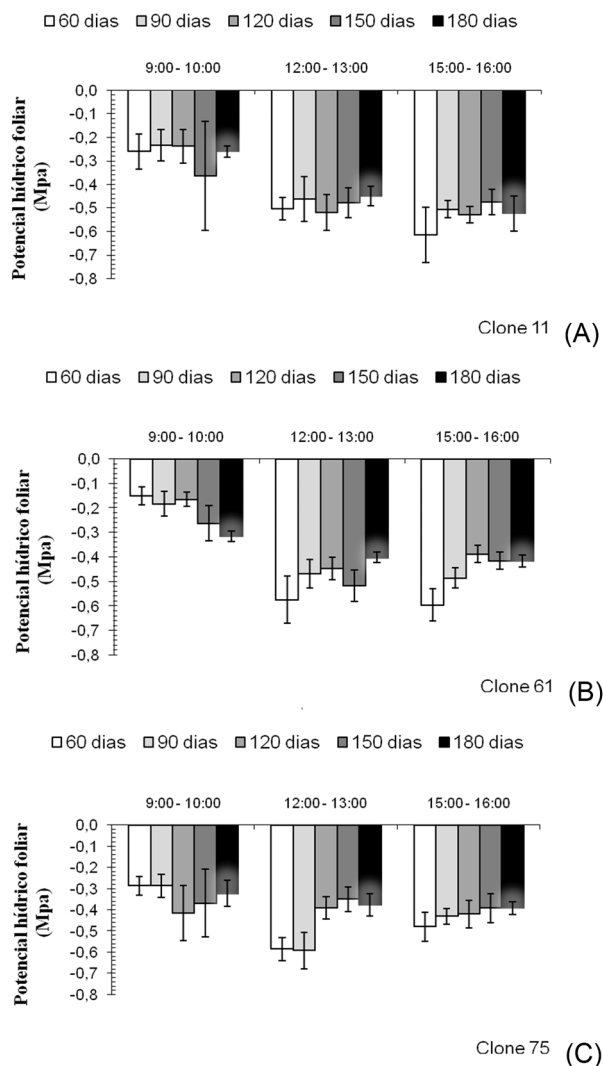
Em uma análise geral, para os clones 11 e 75, as mudas com maior tempo de cultivo nos recipientes apresentaram maior eficiência intrínseca



**Figura 3.** Rendimento quântico máximo do fotossistema II de mudas de clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em diferentes horários em função do período de permanência no viveiro.

**Figure 3.** Maximum quantum yield of photosystem II of clonal cuttings of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* at different times depending on the storage time in the nursery.

do uso da água (EIUA) (Figura 5). Os valores apresentados pelas mudas com 60 DAE foram 68 % e 38 % inferiores às mudas com 180 DAE, respectivamente. Aos 180 DAE, quando comparado com as plantas com 60 DAE, os altos valores da eficiência intrínseca do uso da água dos clones estão associados ao decréscimo mais acentuado da condutância estomática nesta época de cultivo. Não foram verificadas diferenças estatísticas na eficiência intrínseca do uso da água para o clone 61 em função dos tratamentos (Figura 5A). Em relação a eficiência instatânea do uso da água (EUA), o clone 11 apresentou aumento desta variável com o aumento do tempo de permanência das mudas nos recipientes. Os clones 61 e 75 não apresentaram diferenças em função dos tratamentos (Figura 5B).



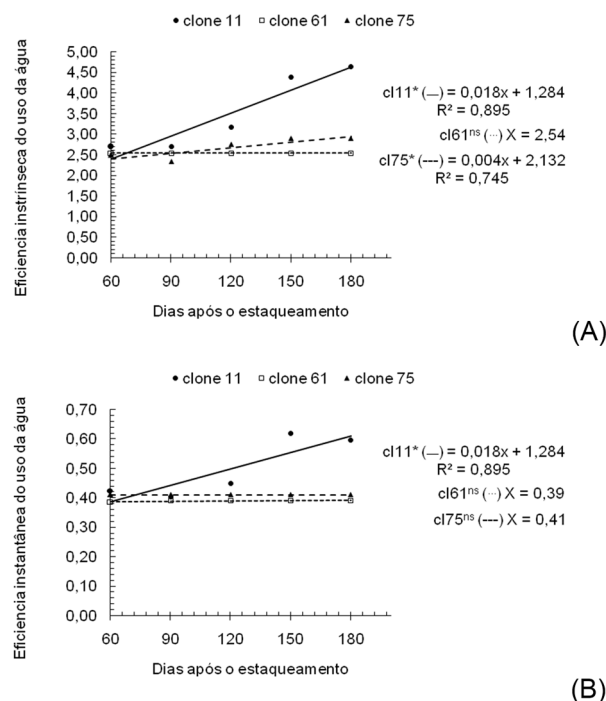
**Figura 4.** Potencial hídrico foliar de mudas clonais *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em diferentes horários do dia, em função do período de permanência no viveiro.

**Figure 4.** Leaf water potential of clonal cuttings *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* at different times of day, depending on the storage time in the nursery.

Torna-se importante relatar que os clones 61 e 75, considerados, neste estudo, sendo mais sensíveis ao confinamento do sistema radicular, apresentaram maior redução da assimilação de CO<sub>2</sub>, por meio do controle estomático, e esta ação permite a estes clones terem maior controle na perda de água.

Os valores de eficiência intrínseca do uso da água e eficiência instantânea do uso da água podem ser importantes para o manejo de irrigação no viveiro, e percebe-se que, de forma geral, as mudas mais novas (60 DAE) e teoricamente com tecidos menos rustificados apresentaram menor controle estomático, resultando em maior perda de água. Por outro lado, as mudas com idades mais avançadas apresentam menor perda de água, não somente pela maior rusticidade, mas também, pela redução da condutância es-

tomática causada pelo confinamento do sistema radicular. Apesar das variações encontradas no presente estudo, Correia et al. (2013), avaliando o crescimento de mudas clonais de eucalipto, não verificaram diferenças no crescimento das plantas 12 meses após o replantio, partindo de mudas com diferentes idades de expedição (60, 75, 90 e 120 dias). Resultados semelhantes são apresentados por Figueiredo (2011), avaliando, também, o crescimento de mudas clonais de eucalipto, em diferentes idades de expedição, aos 24 meses após o plantio. Estes resultados podem mostrar que esta espécie pode apresentar certa plasticidade e assim efetuar uma recuperação do estresse associado às trocas gasosas causado pelo confinamento do sistema radicular.



**Figura 5.** Eficiência intrínseca do uso da água (A) e eficiência instantânea do uso da água (B) de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em função do período de permanência no viveiro.

**Figure 5.** Intrinsic efficiency (A) and instantaneous efficiency of the water use (B) on clonal cuttings of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* related to their stay periods in the nursery.

\*\*significativo a 1% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>não significativo. Dados submetidos à transformação ( $X = \log(X)$ ) por não apresentarem distribuição normal.

## CONCLUSÕES

Nos três clones de eucalipto estudados, o maior tempo de permanência das mudas tubetes de 53 cm<sup>3</sup> resultou em reduções na capacidade fotossintética, sendo esta redução associada aos efeitos estomáticos e aos efeitos não estomáticos.

As mudas com mais tempo de cultivo no recipiente apresentaram maior controle estomático e com isso maior eficiência intrínseca do uso da água.

Os clones estudados apresentaram respostas diferenciadas em relação aos efeitos do tempo de permanência no recipiente de cultivo, tendo o clone 11 apresentado menor susceptibilidade aos efeitos deletérios do longo período de confinamento do sistema radicular, e os clones 61 e 75, maior sensibilidade.

## AGRADECIMENTOS

À Fibria Celulose S.A. pela cessão de sua estrutura física de laboratório e viveiro e, também, pelo apoio técnico, científico e logístico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. V. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: UFV, 2009. 500 p.
- ARP, W. J. Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO<sub>2</sub>. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 14, n. 8, p. 869-875, 1991.
- ATWELL, B. J. Physiological responses of lupin roots to soil compaction. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 111, p. 277-281, 1988.
- BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 89-113, 2008.
- BARJA, P. R.; MANSANARES, A. M.; SILVA, E. C.; ALVES, P. L. C. A. Photoacoustics as a tool for the diagnosis of radicular stress: Measurements in eucalyptus seedlings. **Review of Scientific Instruments**, v. 74, p. 709-711, 2003.
- BOLHÀR-NORDENKAMPE, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SCHREIBERS, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, London, v. 3, p. 497-514, 1989.
- CARMI, A.; HESKET, J.D.; ENOS, W.T.; PETERS, D. B. Interrelationship between shoot growth and photosynthesis as affected by root growth restriction. **Photosynthetica**, Praga, v. 17, n. 2, p. 240 - 245, 1983.
- CHOI, J. H.; CHUNG, G. C.; SUH, S. R.; YU, J. A.; SUNG, J. H.; CHOI, K. J. Suppression of calcium transport to shoots by root restriction in tomato plants. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 495-498, 1997.
- CORREIA, A. C. G.; SANTANA, R. C.; OLIVEIRA, M. L. R.; TITON, M.; ATAÍDE, G. M.; LEITE, F. P. Volume de substrato e idade: Influência no desempenho de mudas clonais de eucalipto após replantio. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 185 - 191, 2013.
- DA MATTA, F. M. (1999) Mecanismos fisiológicos associados ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. In: Workshop sobre Sistema Radicular: Metodologias e Estudo de Casos. 1999, Aracajú. **Anais...** Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 199. p. 19-45.
- DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plants Physiology**, Palo Alto, v. 42, p. 55-76, 1991.
- FAGERIA, N. K.; BALINGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. London: The Haworth Press Inc., 2006.
- FIGUEIREDO, F. A. M. M. A. (2011) **Características morfofisiológicas de mudas clonais de eucalipto e suas implicações no padrão de qualidade para plantio e crescimento no campo**. 2011. 100 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011.
- GREGORY, P. **Plant roots: growth, activity and interaction with soils**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 318 p.
- 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, Bristol, v. 59, n. 6, p. 685-692, 1987.
- HEROLD, A.; MCNEIL, P. H. Restoration of photosynthesis in pot-bound tabaco plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 30, p. 1187-1194, 1979.
- HURLEY, M. B.; ROWARTH, J. S. Resistance to root growth and changes in the concentrations of ABA within the root and xylem sap during root restriction. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, p. 799-804, 1999.



- JACKSON, M. B. Hormones from roots as signals for the shoots of stressed plants. **Trends in plant Science**, v. 2, p. 22-28, 1997.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water Relations of Plants and Soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.
- KRIZEK, D. T.; CARMI, A.; MIRECKI, R. M.; BUNCE, J. A. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphology and physiological responses of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Experimental Botany**, v. 36, p. 25-38, 1985.
- LIU, A. M.; LATIMER, J. G. Water relations and abscisic acid levels of watermelon as affected by rooting volume restriction. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 46, p. 1011-1015, 1995.
- MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; SIQUEIRA, L.; FERREIRA, E. M.; LEITE, H. G.; CAVALLAZZI, J. R. P. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 947-953, 2005.
- MISRA, R. K.; GIBBSONS, A. K. Growth and morphology of eucalypt seedling-roots, in relation to soil strength arising from compaction. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 182, n. 1, p. 1-11, 1996.
- PETERSON, T. A.; REINSEL, M. D.; KRIZEK, D. T. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Better Bush) plant response to root restriction II. Root respiration and ethylene generation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, p. 1241-1249, 1991.
- RAY, J. D.; SINCLAIR, T. R. The effect of pot size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 325, p. 1381-1386, 1998.
- REIS, E. R.; LÚCIO, A. D. C.; FORTES, F. O.; LOPES, S. J.; SILVEIRA, B. D. Período de permanência de mudas de *eucalyptus grandis* em viveiro baseado em parâmetros morfológicos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 809-814, 2008.
- 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.
- RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M.; BATISTA, K. D.; MORAES, G. A. B. K.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Growth and photosynthetic down-regulation in *Coffea arabica* in response to restricted root volume. **Functional Plant Biology**, Australia, v. 33, n. 11, p. 1013-1023, 2006.
- ROSENQVIST, E.; KOOTEN, O. V. Chlorophyll fluorescence: a general description and nomenclature. In: DeEll, J. R.; Toivonen, P. M. A. (Ed.). **Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2003. p. 31 - 77.
- SATO, F.; YOSHIOKA, H.; FUJIWARA, T. Effect of root volume restriction on growth and carbohydrate status of cabbage seedlings. **Environmental Control in Biology**, v. 39, p. 235-243, 2001.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy Science**, v. 52, n. 1, p.119-125, 1965.
- SHI, K.; DING, X. T.; DONG, D. K.; ZHOU, Y. H.; YU, J. Q. Root restriction-induced limitation to photosynthesis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 117, p. 197-202, 2008.
- STRASSER, B. J.; STRASSER, R. J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: Mathis, P. (Ed.). **Photosynthesis: from light to biosphere**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1995. p. 977- 980.
- STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M., Pather, U., Mohanly P. (eds.). **Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation**. London: Taylor and Francis, 2000. p. 445-483.
- THOMAS, T. H.; STRAIN, B. R. Root restriction as a factor in photosynthetic acclimation of cotton seedling grown in elevated CO<sub>2</sub>. **Plant Physiology**, v. 96, p. 627-634, 1991.
- 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.; DAVIDSON, A. W; ASHENDEN, T. W. Interactive effects of ozone and soil volume on *Plantago major*. **New Phytologist**, v. 134, n. 2 p. 287-294, 1996.
- WILL, R. E.; TESKEY, R. O. Effect of elevated carbon dioxide concentration and root restriction on net photosynthesis, water relations and foliar carbohydrate status of loblolly pine seedlings. **Tree Physiology**, Victoria, v. 17, p. 655-661, 1997.
- XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura Clonal**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 272 p.
- YAMANISHI, O. K.; CAMPOSTRINI, E.; MARIN, S. L.; MARTELLETO, L. A. P. Influence of root zone restriction on the growth of four papaya (*Carica papaya* L.) genotypes. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 516, p. 155-162, 1998.
- YONG, J. W. H.; LETHAM, D. S.; WONG, S. C.; FARQUHAR, G. D. Effects of roots restriction on growth and associated cytokinin levels in cotton (*Gossypium hirsutum*). **Functional Plant Biology**, Australia, v. 37, n. 10, p. 974 – 984, 2010.

Recebido em 20/08/2013  
Aceito para publicação em 04/07/2014