

CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE MUDAS  
CLONAIS DE EUCALIPTO E SUAS IMPLICAÇÕES NO PADRÃO  
DE QUALIDADE PARA PLANTIO E CRESCIMENTO NO CAMPO

**FÁBIO AFONSO MAZZEI MOURA DE ASSIS FIGUEIREDO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
ABRIL – 2011

CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE MUDAS  
CLONAIIS DE EUCALIPTO E SUAS IMPLICAÇÕES NO PADRÃO  
DE QUALIDADE PARA PLANTIO E CRESCIMENTO NO CAMPO

**FÁBIO AFONSO MAZZEI MOURA DE ASSIS FIGUEIREDO**

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

Orientador: Prof. José Geraldo de Araújo Carneiro

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
ABRIL – 2011

CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE MUDAS  
CLONAIS DE EUCALIPTO E SUAS IMPLICAÇÕES NO PADRÃO  
DE QUALIDADE PARA PLANTIO E CRESCIMENTO NO CAMPO

**FÁBIO AFONSO MAZZEI MOURA DE ASSIS FIGUEIREDO**

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

Aprovado em 28 de abril de 2011-04-04

Comissão examinadora:

---

Prof. Aloisio Xavier (D.Sc. Ciência Florestal) – UFV

---

Ricardo Miguel Penchel (Ph.D. Biologia Vegetal) – FIBRIA CELULOSE S.A.

---

Prof. Eliemar Campostrini (D.Sc. Produção Vegetal) – UENF

---

Prof. José Tarcísio de Lima Thiebaut (D.Sc. Ciência Animal) – UENF

---

Prof. José Geraldo de Araújo Carneiro (D.Sc. Ciências Naturais) – UENF  
Orientador

“A corrida para a excelência não tem linha de chegada”  
(David Rye)

## AGRADECIMENTOS

À Deus;

À minha esposa, Anna Christina, por todo amor e carinho, e a toda minha família e amigos;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro;

À FIBRIA CELULOSE S.A. pela cessão de sua estrutura física de laboratório e viveiro e, também, pelo apoio técnico-científico e logístico;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Professor José Geraldo de Araújo Carneiro pela orientação, amizade e cumplicidade;

Ao Pesquisador Ricardo Miguel Penchel pela amizade, orientação e por todas as oportunidades oferecidas durante a execução da tese;

Ao Professor Eliemar Campostrini pela colaboração nos experimentos e análises fisiológicas;

Ao Professor José Tarcísio de Lima Thiebaut pela colaboração incondicional nas análises estatísticas, pela amizade e incentivo;

À Professora Deborah Guerra Barroso pela colaboração na discussão e redação dos trabalhos;

Ao Professor Aloísio Xavier pela contribuição durante a defesa de tese;

Aos técnicos da Célula 8 e em especial aos amigos Edmundo, Júlio, Jurandir e Jair;

A todos que contribuíram com esta conquista.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	03
2.1 Características de qualidade de mudas .....	03
2.2 Confinamento radicular e o efeito na fisiologia da planta .....	05
2.3 Condutividade hidráulica do sistema radicular .....	08
3. TRABALHOS .....	11
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE RAIZ E CAPACIDADE FOSSINTÉTICA DE MUDAS CLONAIAS DE EUCALIPTO COM INDUÇÃO DE DEFORMAÇÕES RADICULARES .....	11
RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUÇÃO .....	13
MATERIAL E MÉTODOS .....	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
CONCLUSÕES .....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33
QUALIDADE FISIOLÓGICA NO VIVEIRO DE MUDAS CLONAIAS DE EUCALIPTO EM DISTINTAS IDADES DE EXPEDIÇÃO E O CRESCIMENTO APÓS O PLANTIO.....	39
RESUMO .....	39
ABSTRACT .....	40
INTRODUÇÃO .....	41
MATERIAL E MÉTODOS .....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47

CONCLUSÕES .....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DE MUDAS DE TRÊS CLONES DE EUCALIPTO E SEU DESEMPENHO APÓS O PLANTIO .....	68
RESUMO .....	68
ABSTRACT .....	69
INTRODUÇÃO .....	70
MATERIAL E MÉTODOS .....	72
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	77
CONCLUSÕES .....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
4.RESUMO E CONCLUSÕES .....	87
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89

## RESUMO

FIGUEIREDO, Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis. D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; abril 2011; Características morfofisiológicas de mudas clonais de eucalipto e suas implicações no padrão de qualidade para plantio e crescimento no campo. Orientador: José Geraldo de Araújo Carneiro. Co-Orientadores: Ricardo Miguel Penchel, Eliemar Campostrini e José Tarcísio de Lima Thiebaut.

Pesquisas têm avaliado os efeitos das características de qualidade de mudas e suas interrelações, medidas na expedição para o campo, com o crescimento pós-plantio. Contudo ainda não foi estabelecido um padrão de qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. Este trabalho foi dividido em três experimentos. O primeiro objetivou avaliar o efeito de deformações radiculares induzidas na condutividade hidráulica do sistema radicular. O segundo teve por objetivo avaliar período de rotação no viveiro (60, 90, 120, 150 e 180 dias), e o crescimento pós-plantio até 24 meses. E o terceiro, a correlação entre as características morfofisiológicas e o aspecto fitossanitário de mudas com o crescimento após o plantio. Verificou-se que a indução de deformações radiculares causou um decréscimo na condutividade hidráulica e queda na taxa fotossintética das mudas. O aumento no tempo de

rotação das mudas no viveiro causou reduções na capacidade fotossintética relacionadas a efeitos estomáticos e não estomáticos. Os clones estudados apresentaram comportamento diferenciado em relação aos efeitos do período de rotação no viveiro, tendo o clone A apresentado menor susceptibilidade aos efeitos deletérios do longo período de confinamento em recipientes de 53 cm<sup>3</sup>. Independente do clone avaliado, mudas com idade de expedição de 90 dias apresentaram o maior crescimento tanto em altura, quanto em DAP, 24 meses após o plantio. As características avaliadas no viveiro que apresentaram maior correlação com o crescimento inicial das plantas no campo, verificados aos 3 e 6 meses após o plantio, foram a altura, o diâmetro de colo, o número de pares de folha, o número de deformações radiculares, a relação entre a copa da muda e sua altura e o comprimento do torrão. Aos 12 e 24 meses após o plantio as características que apresentaram maior correlação foram a altura, o diâmetro de colo, o número de pares de folhas, o número de deformações radiculares e o aspecto fitossanidade. As deformações radiculares não interferiram no crescimento inicial das plantas em condições de alta precipitação pluviométrica, mas os efeitos se tornaram prejudiciais ao longo do tempo, acarretando em redução do crescimento das plantas.

Palavras-chave: *Eucalyptus spp.*, qualidade de mudas, viveiro, condutividade hidráulica, deformações radiculares

## ABSTRACT

FIGUEIREDO, Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis. D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; abril 2011; Morphophysiological characteristics of eucalyptus cuttings and its implications on quality standards for planting and growth in the field. Advisor: José Geraldo de Araújo Carneiro. Co-Advisors: Ricardo Miguel Penchel, Eliemar Campostrini e José Tarcísio de Lima Thiebaut.

Researches have evaluated the effects of characteristics of quality cuttings and their relationships at the lifting time with the post planting performance. However, it was not yet established a quality standard for *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clonal cuttings. This work was divided in three experiments. The first aimed the evaluation of induced root malformations on hydric conductivity of the roots. The second one had the goal the evaluation the rotation period in the nursery (60, 90, 120, 150 and 180 days) as well as the growth until 24 months after the planting. The third one evaluated the interrelationship between

morphological characteristics and the phytosanitary aspect of the cuttings with the post-planting growth. Induced root malformations showed drops in the root system hydric capacity and in the cutting's photosynthetic rate. Increasing periods brought forward photosynthetic capacity reductions due to stomatal and non stomatal effects. The studied clones showed different behavior regarding the stay periods effects in the nursery. The clone A showed lower susceptibility to the injurious effects of long restriction period in 53 cm<sup>3</sup> rigid plastic tubes. Independently of the clone 90 days old cuttings presented higher height and breast height diameter 24 months after the planting. The characteristics that showed higher correlation with the initial growth 3 and 6 months after the planting were height, root collar diameter number of leaf pairs, number of root malformations, cuttings crown/height and clod's length. At 12 and 24 months after the planting the characteristics that showed higher correlation were height, root collar diameter, number of leaf pairs, number of malformation roots and the phytosanitary aspects. The root malformations did not show interference on the initial growth of the plants under high rainy conditions. However the effects became deleterious along the time, promoting plant growth decrease.

**Keywords:** *Eucalyptus* spp; Cuttings quality; nursery; hydraulic conductivity; root malformations.

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2009 a área total de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil atingiu 6.310.450 ha, apresentando um crescimento de 2,5 % em relação ao total de 2008, considerado modesto tendo em vista o crescimento médio anual de 5,5 % no período de 2005 a 2008 (ABRAF 2010). De acordo com o relatório apresentado por esta associação, a redução da taxa de crescimento das áreas de florestas plantadas com eucalipto e pinus em 2009, decorreu da crise financeira internacional que afetou a economia mundial, reduzindo significativamente a demanda dos mercados compradores dos produtos das cadeias produtivas baseadas em madeira originária de florestas de eucalipto e pinus.

Dentre suas utilizações, destaca-se o segmento de papel e celulose. De acordo com o relatório anual da Associação Brasileira de Celulose e Papel, (2010), ano base 2009, o setor de papel e celulose é composto por 220 empresas distribuídas nas cinco regiões do país, é responsável por 14,4% do saldo da balança comercial e gera 114 mil empregos diretos e 500 mil empregos indiretos. Ainda, de acordo com dados desta associação, a produtividade da cultura, atualmente, gira em torno de  $41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$ , mas com capacidade para alcançar  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Neste sentido, destaca-se a

importância do desenvolvimento de pesquisas para colaborar com o desenvolvimento do setor.

Segundo Souza-Silva et al. (2006), o investimento em pesquisas, em novas tecnologias, no setor florestal é de fundamental importância para a sobrevivência e sustentabilidade econômica, com o fim de evitar que o Brasil perca mercado para outros países.

A produtividade da floresta é resultado de interações complexas entre fatores do ambiente (água, luz, temperatura, entre outros), manejo (cultural e silvicultural) e a potencialidade do material genético. De acordo com Lopez (2005), o êxito de um projeto florestal depende de muitos fatores, entre eles, da qualidade das mudas, visando ao aumento da produtividade do povoamento florestal.

A muda representa um dos menores custos na implantação dos povoamentos. Mas, por outro lado, sua qualidade é determinante na sobrevivência, no crescimento e, conseqüentemente, na produtividade das áreas plantadas.

Muito se tem estudado a respeito da qualidade morfológica das mudas. Segundo Fonseca et al. (2002), nos viveiros, em que há setores individualizados, com ambientes protegidos, com fins específicos de enraizamento, crescimento e rustificação, um dos principais problemas é determinar quais as características de qualidade de mudas que se relacionam com a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas no campo. De acordo com Gomes e Paiva (2006), a altura e o diâmetro são as características mais utilizadas na classificação da qualidade.

Segundo Alfenas et al. (2009), as mudas, após a rustificação, devem ser plantadas o mais cedo possível. Contudo, isso nem sempre ocorre e é comum o aparecimento de manchas foliares, enovelamento, dobra e estrangulamento das raízes e morte de radículas, cujos reflexos são percebidos mais tarde no campo.

Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivos explorar os diversos parâmetros morfológicos e fisiológicos que expressam a qualidade das mudas no viveiro e seu respectivo crescimento no campo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Características de qualidade de mudas

A literatura relata que a produtividade de povoamentos de eucalipto pode aumentar em resposta ao melhoramento genético e à adoção de práticas, como a produção de mudas de qualidade, preparo e fertilização do solo, controle da vegetação invasora, adequado espaçamento e desbaste.

Em projetos de florestamento e reflorestamento, a qualidade das mudas é muito importante, por estar relacionada diretamente com a sobrevivência e o crescimento do povoamento. Por se tratar de investimentos de longo prazo, o rigor torna-se maior, justificando o custeio com a qualidade das mudas (Leite et al., 2005). Os critérios para a classificação da qualidade de mudas baseiam-se em duas premissas: aumento da sobrevivência e o crescimento inicial do povoamento recém-implantado (Carneiro, 1995). Também, segundo Fonseca et al. (2002), um dos principais problemas dos viveiros de espécies florestais é determinar quais técnicas empregadas, que proporcionam características de qualidade às mudas, para aumentar a sobrevivência e o crescimento, nos meses subsequentes ao plantio.

As características morfológicas são atributos determinados física ou visualmente, sendo os mais utilizados para determinar o padrão de qualidade

das mudas. Vários experimentos têm mostrado a importância dessas características voltadas para prognosticar o sucesso do desempenho das plantas no campo (Fonseca, 2002).

É consenso que o sucesso dos povoamentos florestais está diretamente relacionado à qualidade das mudas. Neste sentido, os primeiros experimentos evidenciaram que a altura e diâmetro de colo são características indicadoras da qualidade de mudas. Contudo, existem muitas outras características que podem e devem ser avaliadas, como o número de pares de folhas, o teor de clorofila foliar, a relação entre o comprimento da copa e a altura da muda, entre outros. De acordo com Gomes et al. (2002), as características que avaliam a qualidade das mudas ainda não estão definidas e, quase sempre, a sua mensuração não é operacionalizada na maioria dos viveiros.

De acordo com Carneiro (1995), o plantio de mudas com alto padrão de qualidade garante altos índices de sobrevivência e bom crescimento inicial, reduzindo dessa forma, a necessidade de tratos culturais em povoamentos recém-implantados.

Segundo Mafia et al. (2005), mesmo diante de toda a evolução ocorrida no processo de clonagem, não existe um critério técnico para determinar a idade ótima das mudas para plantio, o que tem refletido significativamente sobre a qualidade, sobretudo do sistema radicular. Ainda, segundo os autores, o plantio de mudas que ultrapassaram o período de rotação no viveiro tem sido um dos maiores problemas para o estabelecimento e o crescimento inicial das mudas.

As características de qualidade são fortemente influenciadas pelas técnicas de produção, notadamente pela densidade (mudas por m<sup>2</sup>), fertilidade e volume de substrato, forma e dimensões dos recipientes, além da disponibilidade de água (Carneiro, 1995). De acordo com o autor, em virtude das diversas condições ambientais de diferentes sítios, os métodos de produção e as características de qualidade das mudas diferenciam-se entre regiões. Portanto, torna-se necessário que se estabeleçam distintas classificações, entre regiões de condições edafoclimáticas diferentes.

Segundo Mexal e Landis (1990), a altura é uma das características mais importantes para prognosticar o crescimento das plantas no campo.

Barnett (1983), também, avaliando mudas de pinus, verificou que o crescimento no campo é maior, à medida que as dimensões de altura e diâmetro das mudas, por ocasião do plantio, forem maiores. Freitas (2003), avaliando o crescimento pós-plantio de mudas de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* produzidas em diferentes recipientes e substratos, verificou que mudas com maiores dimensões de altura e diâmetro apresentaram melhor desempenho inicial após o plantio. Resultados semelhantes também foram observados por Barroso et al. (2000), Leles et al. (2000) e Morgado et al. (2000). No entanto, Carneiro e Ramos (1981) encontraram equivalência de crescimento em altura, em experimento com *Pinus taeda*, seis anos após o plantio, partindo-se de mudas com diferentes dimensões de altura e diâmetro do colo. Esta constatação sugere, segundo Carneiro (1995), que as dimensões das árvores, anos após o plantio possam tornar-se equivalentes, mesmo com o emprego de mudas com diferentes dimensões no momento do plantio. Este autor, contudo ressalta que o crescimento inicial é importante, para evitar a concorrência com a vegetação espontânea e, possivelmente, com diminuição dos custos dos tratamentos culturais de manutenção. Toledo et al. (2000), concluíram em seu trabalho que as plantas daninhas passam a reduzir significativamente o crescimento das plantas de eucalipto a partir de 14 a 28 dias de convivência e que é necessário um período de 140 dias de controle para assegurar o pleno crescimento da cultura no primeiro ano de seu ciclo.

É importante frisar que grande parte dos trabalhos relacionados à qualidade de mudas foi desenvolvida com materiais seminiais. Em trabalhos mais recentes vêm sendo desenvolvidos utilizando materiais clonais, notadamente com espécies de eucalipto e que apresentam diferenças marcantes em relação às mudas produzidas por sementes, principalmente no que diz respeito ao sistema radicular. De acordo com Lynch (1995), há evidências de que a arquitetura de raiz é um aspecto fundamental da produtividade da planta, especialmente em ambientes caracterizados por baixa disponibilidade de água e nutrientes.

## 2.2 Confinamento radicular e o efeito na fisiologia da planta

Durante a fotossíntese, a planta utiliza a energia solar para oxidar a água, liberando, conseqüentemente, oxigênio, e para reduzir o dióxido de

carbono, assim produzindo grandes compostos carbonados, sobretudo açúcares (Taiz e Zeiger, 2004).

Plantas que possuem suas raízes crescendo em ambiente confinado apresentam menor capacidade fotossintética (Goto et al., 2002), podendo, esta queda de rendimento, estar associada a fatores estomáticos e não estomáticos ou a ambos.

De acordo Will e Teskey (1997), ocorre um comportamento diferenciado entre as espécies, com relação à taxa fotossintética, quando submetidas ao confinamento do sistema radicular. Para Ismail e Davies (1998), diferenças nos resultados de diferentes trabalhos podem estar relacionadas à diferença do comportamento das espécies, do volume para exploração do sistema radicular e dos métodos de cultivo.

Shi et al. (2008), Shi et al. (2007), Netto et al., (2006) e Zhu et al. (2006), trabalhando com tomate, café e videira, respectivamente, verificaram reduções na taxa fotossintética em plantas submetidas ao confinamento do sistema radicular.

A diminuição na assimilação de CO<sub>2</sub> em mudas de amieiro e algodão foi atribuída a uma redução na condutância estomática, causada por estresse hídrico (Tschaplinski e Blake, 1985) e a uma diminuição na eficiência de carboxilação no ciclo de Calvin (Thomas e Strain, 1991), respectivamente. De fato, segundo Itai & Birnbaum (1991), as condições de confinamento do sistema radicular 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 CO<sub>2</sub>.

Segundo Arp (1991), e Schaffer et al. (1996), um dos resultados da restrição do sistema radicular é o acúmulo de carboidratos nas folhas, e este acúmulo resultaria na inibição da fotossíntese. Contudo, Will e Teskey (1997), relataram que a diminuição na fotossíntese em mudas de pinus não estava associada a um acúmulo, foliar, de carboidratos, mas sim ao estresse hídrico.

Carmi et al. (1983), Tschaplinski e Blake (1985) e Arp (1991) verificaram uma correlação positiva entre o volume do sistema radicular e a taxa fotossintética da planta. Em plantas submetidas ao confinamento do sistema radicular, os processos fisiológicos relacionados com a diminuição do crescimento da parte aérea foram associados não só ao decréscimo da taxa

fotossintética (Ismail e Noor, 1996), mas também à inibição no transporte de nutrientes (Rieger e Marra, 1994), ao transporte de água (Hameed et al., 1987) e ao desequilíbrio hormonal (Richards e Rowe, 1977).

A água está envolvida diretamente com o processo fotossintético. De acordo com Larcher (2000), com o déficit hídrico, ocorre uma redução na atividade fotossintética, paralela a uma redução do volume celular e, portanto, queda da turgescência. Sendo assim, a condutância estomática e a taxa fotossintética líquida podem ser afetadas pela redução do potencial hídrico foliar.

Carmi e Heuer (1981) mostraram que não houve diferenças de potencial hídrico foliar entre plantas crescidas com sistema radicular confinado e plantas controle.

Will e Teskey (1997) verificaram, em mudas de pinus, queda na relação entre a taxa fotossintética líquida e o potencial hídrico foliar à medida que o volume do recipiente era menor.

Além dos efeitos estomáticos, a fotossíntese é, também, influenciada pela eficiência do aparato fotossintético, com especial destaque para o fotossistema II.

A fluorescência da clorofila é usada para monitorar o desempenho do aparato fotossintético. Pode ser usada para obter informação sobre inibição ou danos na transferência de elétrons, além de avaliar o funcionamento do fotossistema II. A medição da fluorescência da clorofila é uma técnica rápida, precisa e não destrutiva para detectar o desequilíbrio energético e metabólico da fotossíntese (Araus et al., 1998).

A eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ) pode variar, segundo Bolhàr-Nordenkamp et al. (1989), em uma faixa de 0,75 a 0,85 em plantas não submetidas a estresse. Essa relação tem uma grande correlação com o rendimento fotossintético das folhas. A diminuição da relação  $F_v/F_m$  é um indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse (Yang et al., 1996). De acordo com Netto (2001), a fluorescência emitida pode ser uma ótima ferramenta para avaliar os processos fotossintéticos, além de permitir, de forma precoce, chamar atenção para os efeitos de diferentes estresses, antes que os sintomas relacionados se tornem evidentes.

Barja (2003), trabalhando com mudas de eucalipto, observou uma redução na relação  $F_v/F_m$ , quando estas plantas foram cultivadas em recipientes de 50 ml. Netto (2005), trabalhando com plantas de café verificou que plantas produzidas em recipientes de maiores volumes apresentaram maiores eficiências quânticas, em comparação às plantas produzidas em recipientes de menores volumes.

### 2.3 Condutividade hidráulica do sistema radicular

De acordo com Nultsch (2000), as raízes das plantas têm como funções a absorção de água e de íons do solo, realizar a síntese de compostos, servir como órgãos de armazenagem, além de serem responsáveis pela fixação das plantas ao solo. Larcher (2004), também, relata a importância das raízes na absorção de água e nutrientes do solo e na síntese de reguladores de crescimento. Ainda, segundo o autor, a água é o principal constituinte dos vegetais. A aquisição da solução nutritiva e o transporte realizado pelo sistema radicular são componentes essenciais no fluxo de água pela planta (Tyree, 2003). Reduções, mesmo que pequenas, na disponibilidade ou na capacidade de absorção podem afetar drasticamente o metabolismo das plantas, afetando o crescimento e o desenvolvimento das culturas anuais e perenes (Cabral, 2004 e Figuerôa et al, 2004).

De acordo com Goldstein et al. (1998), em árvores tropicais, a água armazenada nos caules e galhos constitui de 10% a 25% da água transpirada em um único dia. Os principais fatores que afetam a absorção de água pela planta são: extensão e profundidade do sistema radicular, superfície e permeabilidade radicular, idade da raiz e a atividade metabólica da planta. Para Reichardt (1990), fatores relacionados à atmosfera, como a umidade relativa do ar, radiação solar, o vento e a temperatura, são, também, de extrema importância.

O fluxo da água é originado pela demanda evaporativa atmosférica pela copa das árvores e transmitido por um continuum hidráulico solo-planta-atmosfera até que esta demanda atinja a reserva de água no solo (Nikolova et al., 2009).

Caules e raízes desempenham funções determinantes na sobrevivência e no crescimento das plantas. Em especial, a absorção de água

e o transporte por meio do xilema são essenciais para a reposição de água perdida durante transpiração, evitando a dessecação, e permitindo a continuidade da fotossíntese (Kramer e Boyer, 1995). De acordo com Huang e Nobel (1994), a condutividade hidráulica da raiz combina os componentes de condutividade em todo o sistema radicular, da superfície da raiz para o xilema e deste para a base do caule.

Brodribb (2009) apresenta uma revisão sobre a relação fisiológica das propriedades hidráulicas do xilema e a produtividade das plantas. De acordo com o autor, o entendimento sobre a fisiologia hidráulica da planta ainda está longe de ser completa, principalmente, considerando o pouco conhecimento dos componentes folha e raiz. A fisiologia do transporte de água define muitos aspectos da função diária das plantas, e investigações sobre a coordenação do desenvolvimento e controle genético trarão grandes avanços na capacidade de manipular a planta em função de nossas necessidades. O autor realça, também, a importância de compreender o controle e expressão de genes envolvidos na regulação e desenvolvimento do sistema de transporte de água. Cruiziat et al. (2002) fazem, também, uma abordagem sobre a arquitetura hidráulica de espécies arbóreas, apresentando os principais conceitos e resultados de diferentes trabalhos.

De acordo com Tyree e Zimmermann (2002), as características anatômicas do sistema de condução de água das plantas podem apresentar um impacto sobre a sua condutividade hidráulica. Huang e Eissenstat (2000) e Solari et al. (2006), relatam, também, diferenças de condutividade hidráulica em função da anatomia da raiz. Para Jackson et al. (2000), variações na anatomia do xilema e propriedades hidráulicas ocorrem em vários níveis: interespecífica, intra-específica e dentro da própria planta. A resistência ao fluxo de água no xilema é determinada em parte pelo diâmetro e comprimento dos condutores responsáveis pelo transporte (McElrone et al., 2004). Variações no diâmetro dos vasos do xilema podem afetar radicalmente a função de diferentes partes do sistema condutor (Tyree e Ewers, 1991; Tyree e Zimmermann, 2002). Assim, para uma mesma diferença de pressão em um segmento, mesmo um pequeno aumento no diâmetro médio do vaso condutor resulta em efeitos exponenciais na condutividade hidráulica específica (McElrone et al., 2004).

Um dos principais problemas causados nas mudas de eucalipto produzidas em recipientes é a deformação do sistema radicular. Além disso, o tempo de confinamento dessas mudas nos recipientes, que gira em torno de 90 a 110 dias dependendo do material genético, é outro fator de extrema importância, pois com o passar do tempo os espaços são preenchidos e a raiz não encontra novos espaços para o seu crescimento. A falta de espaço resulta, então, na intensificação das deformações.

Com a ocorrência da deformação, espera-se que ocorra uma alteração nos tecidos da raiz, principalmente no diâmetro dos vasos do xilema, acarretando em uma menor condutividade hidráulica do sistema radicular. Mas, esta hipótese ainda não encontra amparo na literatura.

Diferentes métodos têm sido utilizados para medir o transporte de solutos e água em sistemas radiculares. São avaliadas plantas cultivadas tanto em sistema hidropônico quanto em solo ou substrato. Na maioria dos casos, as raízes foram avaliadas, em imersão em solução aquosa. Um método utilizado para avaliação da condutividade hidráulica é o método de raízes em câmaras de pressão, descrito por Tyree (2003).

O uso de câmaras de pressão como instrumento para avaliação da condutividade hidráulica de raízes foi utilizado por diversos autores (Radin e Eidenbock, 1984; Joly, 1989; Lo Gullo et al., 1998; Henzler et al., 1999; Rieger e Litvin, 1999; e Shimizu et al., 2005). Nesta metodologia, o sistema radicular é posto em uma câmara de pressão, geralmente imerso em uma solução aquosa de composição conhecida, mas pode, também, ser utilizado com solo ainda aderido ao sistema radicular. A parte aérea é cortada alguns centímetros do colo da planta, ficando, desta forma, uma parte do caule para fora da câmara, que é vedada com uma borracha. Com a injeção de gás para dentro da câmara, ocorre um aumento da pressão interna, fazendo com que a água presente no interior das raízes e na câmara passe pelo sistema radicular, podendo, deste modo, ser coletados no corte feito acima, no caule. Os exudatos coletados em intervalos fixos são, então, pesados.

### 3. TRABALHOS

#### CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE RAIZ E CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA DE MUDAS CLONAIS DE EUCALIPTO COM INDUÇÃO DE DEFORMAÇÕES RADICULARES

##### RESUMO

FIGUEIREDO, Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis. D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Abril de 2011. Condutividade hidráulica de raiz e capacidade fotossintética de mudas clonais de eucalipto com indução de deformações radiculares. Orientador: José Geraldo de Araújo Carneiro. Co-Orientadores: Ricardo Miguel Penchel, Eliemar Campostrini e José Tarcísio de Lima Thiebaut.

A redução do ganho em biomassa de lenho em árvores tem sido atribuída à ocorrência de deformações radiculares ainda na fase de viveiro. O objetivo deste trabalho foi avaliar a condutividade hidráulica do sistema radicular, trocas gasosas e a eficiência fotoquímica de mudas clonais de eucalipto com e sem indução de deformações radiculares. Os tratamentos foram: 1 – mudas sem a indução de deformações radiculares (produzidas de acordo com metodologia operacional do viveiro da Fibria Celulose S.A.) e 2 – mudas com indução de

deformações radiculares. A indução da deformação radicular não resultou em queda no volume radicular. Contudo, deformações radiculares provocaram redução na condutividade hidráulica do sistema radicular, assim como foram verificadas quedas na taxa fotossintética das mudas ao longo do dia. A queda da taxa fotossintética em mudas com indução de deformações radiculares está associada a fatores estomáticos e não estomáticos.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus spp*; condutividade hidráulica; sistema radicular; trocas gasosas.

### ABSTRACT

FIGUEIREDO, Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis. D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. April, 2011. Root hydraulic conductivity and photosynthetic capacity of eucalypt clonal cuttings with root malformation inductions. Advisor: José Geraldo de Araújo Carneiro. Co-Advisor: Ricardo Miguel Penchel, Eliemar Campostrini and José Tarcísio de Lima Thiebaut.

Wood biomass gain reductions in trees has been assigned to root deformations even in the nursery phase. The objective of this work was the evaluation of the root system hydraulic conductivity, gas exchanges and photochemical efficiency of eucalypt clonal cuttings with and without root deformation inductions. The treatments were: 1) operational cuttings without root malformation inductions (grown according to the used methodology of Fibria Cellulose S.A.); 2) root deformation inductions. These inductions did not promote decrease in root volume . However, the deformations brought reduction of the root system hydraulic conductivity. Lower photosynthetic rates were also observed along the day in the cuttings in the root deformed cuttings. This decreasing rate is connected to stomatal and non stomatal factors.

**Keywords:** *Eucalyptus spp*; hydraulic conductivity; root systems; gas exchange.

## INTRODUÇÃO

A função primária do sistema radicular é de adquirir a água, os macro e micronutrientes e promover a ancoragem da planta ao solo. Este sistema atua de maneira secundária no armazenamento de fotoassimilados, na síntese de fitormônios e na propagação clonal (Osmont et al, 2007). Portanto, o crescimento e a produtividade da planta estão diretamente relacionados a uma ótima atividade do sistema radicular.

Quando se tem restrição mecânica do sistema radicular, a diminuição no crescimento da parte aérea de uma planta é constante, ainda que as plantas apresentem ausência de deficiência nutricional (Carmi e Heuer (1981), Ruff et al. (1987) e Peterson et al. (1991). Tal redução no crescimento pode estar relacionada ao desbalanço fitormonal (Ternes et al, 1994, Hurley e Rowarth, 1999) e à limitação hídrica (Hameed et al. 1987). Essa restrição mecânica pode causar alterações na anatomia da raiz, o que pode causar as intensas reduções na condutividade hidráulica deste órgão (Solari et al. (2006).

Contudo, segundo Reis et al. (1991), as plantas com o sistema radicular deformado apresentam menor capacidade de absorção de nutrientes, visto que os pontos de deformação podem oferecer resistência ao movimento de água, e indiretamente provocar o desbalanço nutricional, comprometendo

assim a produtividade da planta. De acordo com Freitas et al. (2005), na condição de campo, as mudas com deformações radiculares no viveiro podem reduzir o crescimento, acarretando maiores custos na manutenção do povoamento florestal. Além disso, as plantas podem reduzir significativamente o incremento de biomassa. Novaes et al. (2002), Barroso et al. (2000), e Freitas (2003) verificaram que, após o plantio na condição de campo, as mudas produzidas sob restrição mecânica do sistema radicular apresentaram sérias deformações radiculares e menores taxas de crescimento inicial, o que acarretou em perdas de produtividade.

Para o crescimento da parte aérea, as plantas necessitam de um sistema radicular que forneça de forma adequada água e nutrientes, (Bengough et al., 2006). A aquisição da água pelo sistema radicular e o transporte desta molécula por toda a planta estabelecem um fluxo (Tyree, 2003), que é originado pela demanda evaporativa da copa das árvores, constituindo um *continuum* hidráulico solo-planta-atmosfera (Nikolova et al., 2009). Portanto, a maior condutividade hidráulica da raiz é um fator crucial no abastecimento de água para a parte aérea da planta.

De acordo com Huang e Nobel (1994), a condutividade hidráulica da raiz combina os componentes de condutividade em todo o sistema radicular, da superfície da raiz para o xilema e deste para a base do caule. De acordo com Tyree e Zimmermann (2002), as características anatômicas do sistema radicular podem apresentar um impacto sobre a condutividade hidráulica deste órgão. Huang e Eissenstat (2000) e Solari et al. (2006) relatam, também, que as diferenças de condutividade hidráulica podem ser relacionadas com a anatomia da raiz. Para Jackson et al. (2000), as variações na anatomia do xilema e as propriedades hidráulicas ocorrem em vários níveis, como interespecífica, intra-específica e dentro da própria planta. De acordo com McElrone et al. (2004), a resistência ao fluxo de água no xilema é determinada em parte pelo diâmetro e pelo comprimento dos vasos condutores responsáveis pelo transporte desta molécula.

Um dos principais problemas em mudas de eucalipto produzidas em recipientes de 53cm<sup>3</sup> é a deformação do sistema radicular. Supõe-se que as deformações radiculares induzam alterações no diâmetro dos vasos do xilema, provocando uma menor condutividade hidráulica do sistema radicular, e

também, com reflexos nas trocas gasosas. Sendo assim, o presente trabalho objetivou avaliar a condutividade hidráulica do sistema radicular, trocas gasosas e a eficiência fotoquímica de mudas clonais de eucalipto, com e sem a indução de deformações no sistema radicular.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **Material vegetal e condições de cultivo**

O experimento foi realizado no viveiro de produção de mudas da empresa FIBRIA, em Aracruz-ES, entre os meses de julho e outubro de 2010. As avaliações foram realizadas neste último mês, e foram utilizadas mudas clonais de um único clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, selecionado por apresentar alta taxa de enraizamento. As mudas foram produzidas a partir de miniestacas apicais (8–10cm), de acordo com o sistema usual de produção da empresa. Neste sistema, as miniestacas foram coletadas a partir de minicepas cultivadas em canaletões contendo areia com solução nutritiva, sob condição de casa-de-vegetação.

Após o estaqueamento no substrato contendo uma mistura composta por fibra de coco (30%), casca de arroz carbonizada (35%) e vermiculita (35%), com o incremento de 2,0 kg.m<sup>3</sup> de osmocote (19-6-10) e 2,0 kg.m<sup>3</sup> de superfosfato simples, as mudas permaneceram por 20 dias em casa de vegetação, com nebulização intermitente. Posteriormente, permaneceram por mais 30 dias em casa de sombra, com redução de 70% da intensidade luminosa e mais 60 dias a pleno sol, para a rustificação. Na figura 1 são apresentados os dados médios diários de temperatura, umidade relativa e o déficit de pressão de vapor durante o período de produção das mudas.

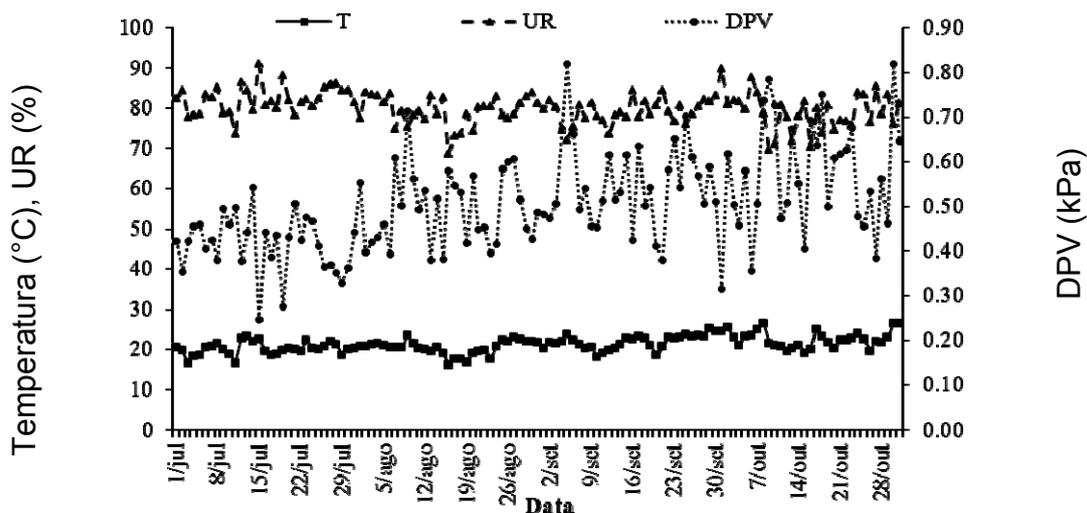


Figura 1: Dados médios diários de temperatura (T), umidade relativa do ar (UR) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV.)

As mudas foram produzidas em recipientes plásticos de secção circular, do tipo tubetes, e com volume de 53 cm<sup>3</sup>. Para tanto, foi estabelecido dois tratamentos, um considerado sem indução de deformações (SD) e o outro com indução de deformação do sistema radicular (CD). Para o tratamento com indução da deformação, considerou-se a secção circular dos recipientes em quadrantes e foram feitos quatro cortes, um em cada quadrante (Figura 2). O primeiro corte foi feito a 2,5 cm da borda superior do tubete e os demais, distantes de 1,5 cm entre si. Nestas aberturas, foram introduzidas pequenas plaquetas de alumínio que cobriam 50% do diâmetro interno do recipiente (Figura 2).

No primeiro corte feito no tubete correspondente ao tratamento em que se induziu a deformação radicular (CD), e durante os primeiros 20 dias de cultivo, foi colocada uma plaqueta circular que cobria, praticamente, toda a secção do recipiente. Isto foi feito para que as raízes iniciais emitidas na estaca apresentassem uma deformação inicial logo após a sua emissão. Após este período, a plaqueta circular foi substituída por uma plaqueta, igual às demais, ou seja, cobrindo apenas 50% do diâmetro interno do recipiente.

Os quatro cortes e a presença das plaquetas de alumínio foram feitos com o objetivo de que as raízes encontrassem restrição mecânica ao crescimento natural, forçando-as a contornar os obstáculos e, com isso, induzir as deformações, em forma de dobras.

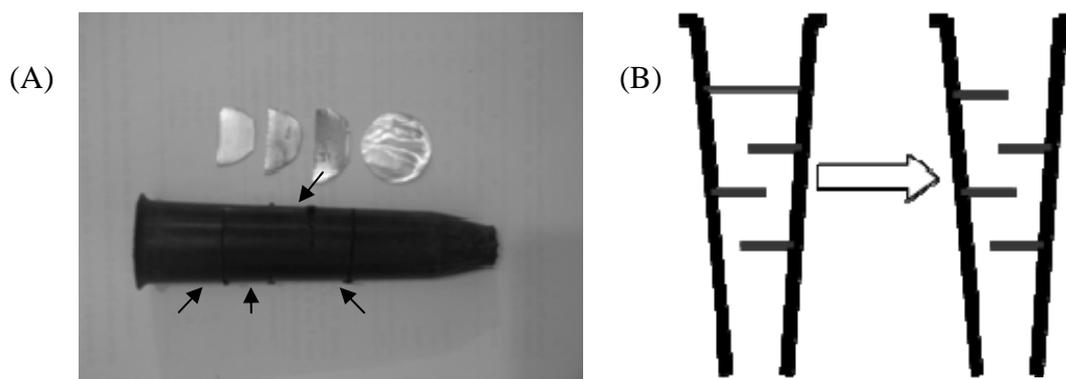


Figura 2: Foto das plaquetas colocadas nos tubetes para induzir as deformações radiculares e o tubete de 53cm<sup>3</sup> com cortes para introdução das plaquetas (A). Ilustração da distribuição das plaquetas antes e após a troca da primeira plaqueta (B).

No final do experimento (110 dias após o estaqueamento), a condutividade hidráulica e o volume do sistema radicular, o teor de clorofila, as trocas gasosas e a eficiência fotoquímica foram avaliados.

### **Condutividade hidráulica da raiz ( $K_L$ )**

A avaliação de  $k_l$  foi feita utilizando uma câmara de pressão (SoilMoisture, Califórnia, USA). Para tanto, as mudas foram seccionadas a 7 cm contados a partir do colo. Em seguida, o sistema radicular foi colocado em um recipiente saturado com água, e rapidamente as raízes foram postas com este recipiente saturado dentro da câmara de pressão. Cerca de uns 5cm do caule ficou para o lado de fora da câmara. Em cada muda foram aplicadas lentamente pressões crescentes de 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 MPa, e em cada valor de pressão aplicado, o tempo utilizado foi de cinco minutos. Com o auxílio de papel absorvente, todo o conteúdo de água exsudado no corte foi coletado e pesado em uma balança analítica de precisão. Em cada tratamento, foram utilizadas 15 mudas.

### **Volume do sistema radicular**

O volume do sistema radicular foi avaliado utilizando-se as mesmas mudas usadas na avaliação da condutividade hidráulica. Depois de lavado, o sistema radicular foi colocado em uma proveta graduada com água e o volume estimado pelo deslocamento do nível da água (Rossiello et al., 1995).

### **Trocas gasosas, eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (PSII) e estimativa do teor de clorofilas totais**

Nas avaliações das trocas gasosas (taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática ( $g_s$ ), e transpiração (E) da eficiência fotoquímica máxima do PSII e do teor de clorofilas, foram utilizadas folhas plenamente expandidas, no terceiro par contado a partir do ápice da planta. Para estas avaliações, e em cada tratamento, foram utilizadas seis plantas. Ao longo do dia, e nos horários de 09:00 às 15:00 horas, a cada hora foram realizadas as medições. Para esta medição das trocas gasosas, foi utilizado um sistema portátil de medição das trocas gasosas modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA) e as medidas foram feitas a uma intensidade luminosa de  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

A avaliação da eficiência fotoquímica máxima do PSII foi feita nos mesmos horários e nas mesmas folhas utilizadas nas medições das trocas gasosas. Durante a avaliação, foi utilizado um fluorímetro não-modulado modelo PEA (Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, Norfolk, UK). Para tanto, antes da medição da eficiência fotoquímica, foi feita uma adaptação ao escuro da área amostrada da folha por 30 minutos, para que todos os centros de reação adquirissem a condição de abertos (Bolhàr-Nordenkampf et al., 1989). Após os 30 minutos de adaptação, foi aplicado um pulso de luz de intensidade de  $3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e em seguida foi determinado os valores de  $F_0$ ,  $F_v$  e  $F_m$ . A partir dos valores destas, foi possível obter o valor do rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ), uma vez que  $F_v = F_m - F_0$  (Bolhàr-Nordenkampf et al., 1989).

O teor de clorofila foi estimado por meio do medidor portátil de clorofilas, OPTI-SCIENCE, modelo - CCM 200. Durante as medidas foram utilizadas as mesmas plantas e folhas das avaliações de trocas gasosas e da eficiência fotoquímica do PSII. Em cada folha, foram feitas 3 determinações, sendo a medição realizada às 10:00 horas.

Na figura 3 são apresentados os dados médios de temperatura, umidade relativa e déficit de pressão de vapor do ar e radiação global e radiação fotossinteticamente ativa (PAR), durante os horários de avaliação das mudas.

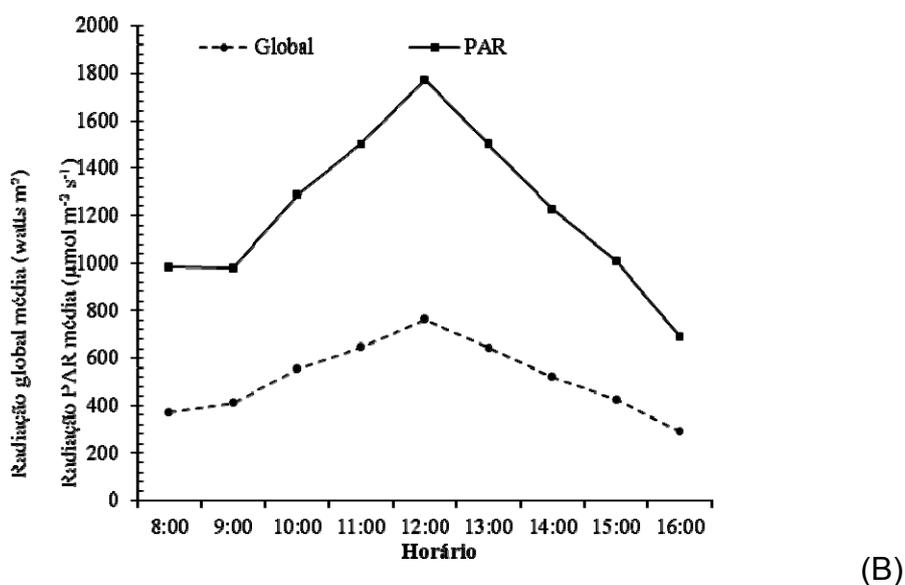
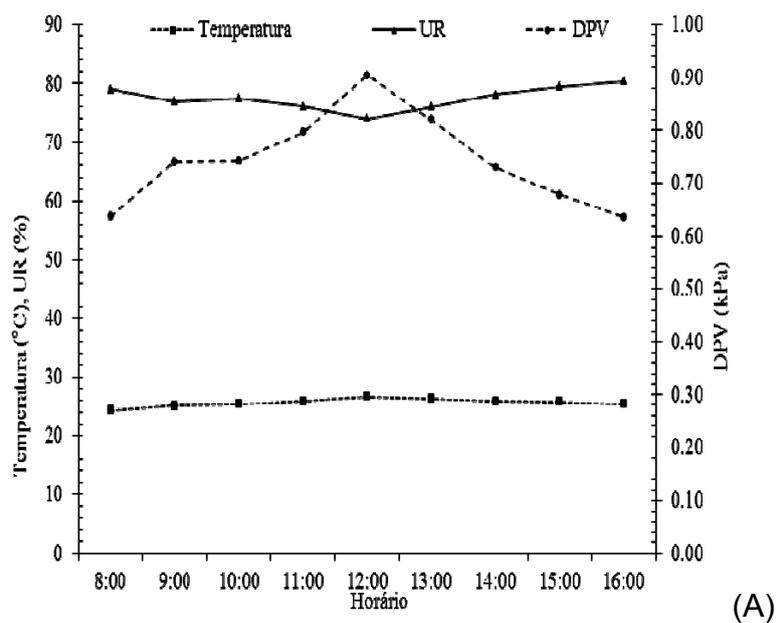


Figura 3: Dados médios de temperatura (T), umidade relativa (UR) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) (A) e radiação global e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (B), durante os horários de avaliação das mudas.

### Delineamento experimental

Os dados foram analisados utilizando métodos de amostragem simples ao acaso, com objetivo de verificar o tamanho amostral para uma população infinita de mudas, considerando o nível de significância de 5% de probabilidade e um desvio (d) de 10% em torno da média da amostra. Após o

dimensionamento da amostra, para a avaliação de condutividade hidráulica foi obtido o intervalo de confiança a 5% de probabilidade e, para as demais avaliações, o erro padrão da média.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 4 pode-se observar que as mudas crescidas nos tubetes com a indução de deformação (CD) apresentaram o volume do sistema radicular semelhante às mudas cultivadas no recipiente sem deformação do sistema radicular (SD).

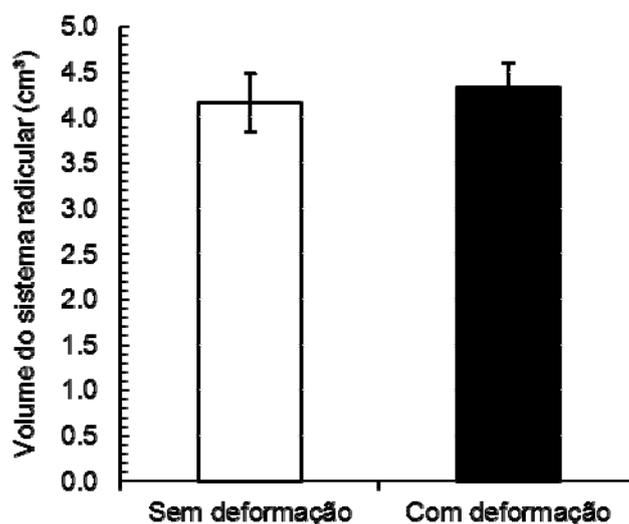


Figura 4: Volume do sistema radicular de mudas clonais de eucalipto com (CD) e sem deformação (SD) do sistema radicular. Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=15).

Torna-se evidente que o volume radicular não foi influenciado pela indução a deformações radiculares, uma vez que o volume ocupado pelas plaquetas no interior dos tubetes pode ser considerado pequeno, o que não

causou alteração no volume ocupado pelas raízes. Caso o volume radicular fosse modificado no tratamento CD, os efeitos relacionados à capacidade fotossintética e às relações hídricas poderiam ser confundidos com a redução no volume do sistema radicular. De fato, diferentes autores (Shi et al. 2008, Shi et al. 2007, Netto et al. 2006, Zhu et al. 2006, Goto et al. 2002, e Will e Teskey, 1997) têm mostrado que a redução no volume do recipiente de cultivo causa comprometimentos na capacidade fotossintética e nas relações hídricas de algumas espécies de plantas. Da mesma forma, à medida que se aumenta o volume dos recipientes e, conseqüentemente, do substrato, tem-se maior produção de raízes.

Contudo, alguns autores têm relatado que quando uma raiz encontra-se sob condição de impedimento mecânico, o diâmetro desta raiz torna-se maior, ou seja, as raízes tornam-se mais grossas (Atwell 1988, Materechera et al. 1991, e Guimarães et al., 2001). Este fato pode mostrar que nas plantas cultivadas com deformação, as raízes grossas podem ter contribuído para o volume total do sistema radicular.

De acordo com os dados apresentados na Figura 5, à medida que se aumenta a pressão em torno do sistema radicular, ocorre um aumento na quantidade de água que sai do caule.

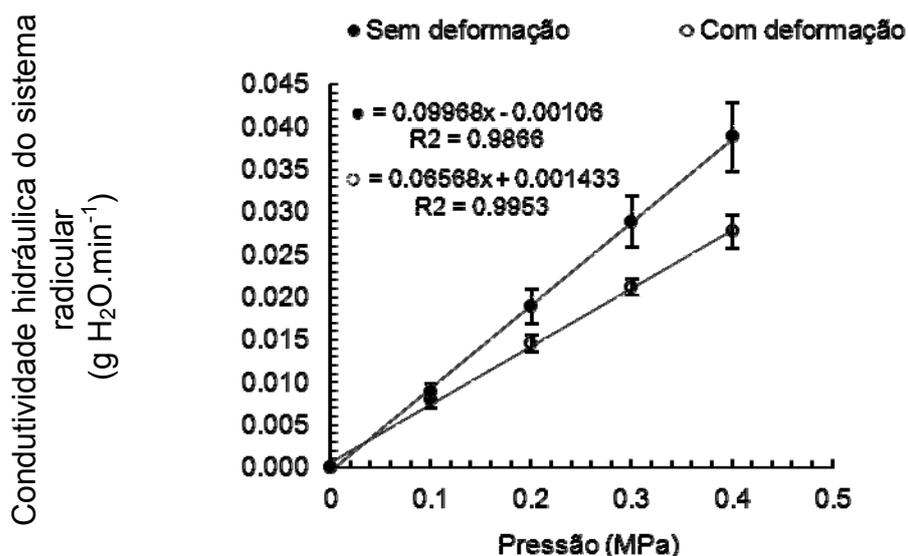


Figura 5: Condutividade hidráulica acumulada do sistema radicular de mudas clonais de eucalipto nos dois tratamentos (● Sem deformação, ○ com deformação).

Barras verticais indicam o intervalo de confiança da média (n=15).

Os resultados mostram que, nas mudas sem deformação, o aumento da pressão resultou em um incremento na saída de água do caule. Esta saída de água esta associada à maior condutividade hidráulica das raízes das plantas cultivadas nos tubetes que não causaram deformação no sistema radicular das mudas. De fato, as plantas sem deformações (SD) apresentaram uma condutividade hidráulica de  $0,100 \text{ g H}_2\text{O MPa}^{-1}$ , enquanto as plantas com deformações (CD) apresentaram um valor de  $0,066 \text{ g H}_2\text{O min}^{-1}$ . Estes valores estão mostrados na Figura 5.

Na pressão de  $0,1 \text{ MPa}$  não houve diferenças na condutividade hidráulica entre os dois tratamentos, mas com o aumento da pressão para valores superiores a  $0,1 \text{ MPa}$  os tratamentos passaram a apresentar diferenças entre si, realçando os efeitos das deformações radiculares na queda da  $K_L$  (Figura 5).

Dentre as funções do sistema radicular, estão a absorção de água e de nutrientes, funções estas essenciais ao fluxo de água e à nutrição mineral das plantas (Tyree, 2003). De acordo com Huang e Nobel (1994), a condutividade hidráulica da raiz combina os componentes de condutividade em todo o sistema radicular, da superfície da raiz para o xilema e deste tecido para a planta inteira. Nesse sentido, pode-se afirmar que as mudas com o sistema radicular deformado quando cultivadas sob condição de campo poderão ter maiores dificuldades na absorção e aquisição de água e nutrientes minerais.

A Tabela 1 mostra a dispersão dos dados de correlação entre a condutividade hidráulica radicular com o volume de raízes.

Tabela 1: Correlação entre a condutividade hidráulica do sistema radicular e o volume de raiz.

Pressão	Correlação
0,1	-0.0394 <sup>ns</sup>
0,2	-0.0310 <sup>ns</sup>
0,3	-0.0538 <sup>ns</sup>
0,4	-0.1132 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade

O dados da Tabela 1 refletem as informações das Figuras 4 e 5. De acordo com as figuras, as mudas produzidas SD apresentaram maior  $K_L$ , ainda que o volume de raiz não tenha apresentado diferenças estatísticas em relação

às mudas CD. Este resultado pode estar relacionado aos efeitos causados pelas deformações impostas ao sistema radicular nas mudas CD, pois de acordo com Tyree e Zimmermann (2002), as características anatômicas do sistema de condução de água das plantas podem apresentar um impacto sobre a sua condutividade hidráulica. Huang e Eissenstat (2000) e Solari et al. (2006), também relatam que a condutividade hidráulica pode ser alterada em função da anatomia da raiz. De acordo com McElrone et al. (2004), a resistência ao fluxo de água no xilema é determinada em parte pelo diâmetro e comprimento dos vasos condutores responsáveis pelo transporte de água. Ainda segundo os autores, para uma mesma diferença de pressão em um segmento, mesmo um pequeno aumento no diâmetro médio do vaso condutor resulta em efeitos exponenciais na condutividade hidráulica específica. Sendo assim, é plausível que prováveis reduções no diâmetro dos vasos condutores, causadas pela ocorrência da deformação radicular, tenham resultado na redução da  $K_L$  das mudas de eucalipto submetidas à indução de deformação (Figura 5).

A Figura 6 mostra os valores médios do teor de clorofila de mudas clonais de eucalipto em função das técnicas de produção.

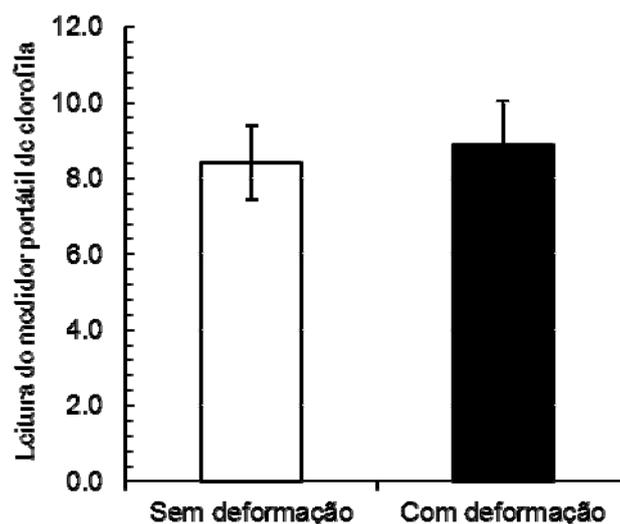


Figura 6: Teor de clorofila de mudas clonais de eucalipto nos dois tratamentos (SD - sem deformação e CD - com deformação). Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=6).

Neste experimento, não houve diferença significativa, entre os tratamentos, para o teor de clorofila nas folhas (Figura 6). Este fato mostra que, na condição de viveiro, embora as plantas com indução de deformações

radiculares tenham apresentado comprometimentos na condutividade hidráulica do sistema radicular, este comprometimento não causou alterações nos teores de clorofilas, o que evidencia que este estresse não causou degradação nestes pigmentos fotossintéticos. De acordo com Hendry e Price (1993), o teor de clorofila é influenciado por diversos fatores bióticos e abióticos, e reduzidos valores destes pigmentos fotossintéticos podem mostrar comprometimentos na capacidade fotossintética das plantas (Netto et al, 2005). Em cafeeiro, Netto et al, (2005), Reis et al. (2006), e Godoy et al. (2008), mostraram que a leitura SPAD teve correlação elevada e positiva com o teor de nitrogênio nas folhas. Os dois últimos autores mostraram que a produtividade das plantas se correlacionou com os valores do medidor portátil de clorofilas.

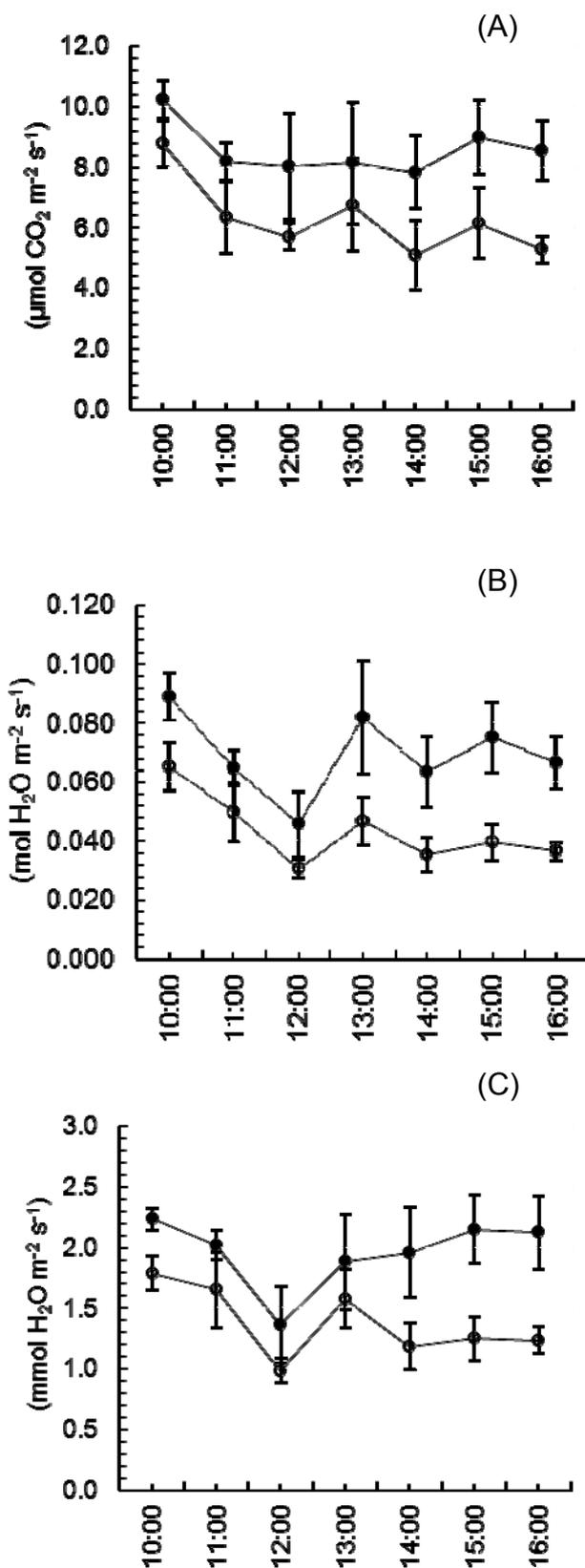


Figura 7: Taxa fotossintética (A), condutância estomática (B) e transpiração (C) de mudas clonais de eucalipto, ao longo do dia, nos dois tratamentos (● sem deformação, ○ com deformação). Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=6).

As mudas produzidas com a indução de deformações radiculares apresentaram as taxas fotossintéticas mais baixas (Figura 7A), ao longo do dia. As respostas da taxa fotossintética em relação ao tempo foram similares às respostas da condutância estomática e da transpiração (Figuras 7B e 7C). A partir do meio-dia, o aumento na diferença entre os dois tratamentos SD e CD nos valores variáveis relacionados às trocas gasosas pode estar relacionado à maior demanda hídrica do ar no período da tarde (Figura 3). Neste período, o ar mais seco promove uma demanda hídrica intensa sobre a planta. Uma vez que as plantas com indução de deformações radiculares apresentaram menor condutividade hidráulica do sistema radicular ( $K_L$ ), esta redução em  $K_L$  e conseqüentemente na absorção de água, permitiu um retardo no abastecimento de água para a parte aérea das plantas cultivadas na condição de indução de deformações do sistema radicular. Tal fato causou um estresse hídrico moderado, o que promoveu o fechamento estomático, comprometendo assim o processo transpiratório das plantas. De fato, por meio de estudos como indução da cavitação do xilema (Sperry et al., 1993) e poda de raízes (Teskey et al., 1983; Meinzer e Grantz, 1990) tem mostrado a relação positiva entre a condutividade hidráulica e a condutância estomática. Segundo Teskey et al. (1983), Sperry et al. (1993), e Saliendra et al. (1995), a resposta em  $g_s$  ocorre dentro de minutos após a manipulação, e o *status* hídrico total da folha pode permanecer constante. Esta ligação entre  $g_s$  e  $K_L$  torna-se elevada, uma vez que durante o processo fotossintético o estômato trabalha no sentido de otimizar a assimilação fotossintética do carbono e, em outro sentido, ele trabalha controlando a perda de água pela folha, para evitar comprometimentos com a relação hídrica da folha (Hubbard et al, 2001). Estes danos estão associados ao fenômeno de cavitação e distúrbios nas relações hídricas e no processo bioquímico da célula (Hubbard et al, 2001). Ainda, estes autores têm mostrado a elevada e positiva relação entre  $K_L$  e a taxa fotossintética e transpiração.

Neste trabalho com mudas de eucalipto, as plantas CD apresentaram em algum momento do cultivo, um impedimento mecânico proporcionado pelas plaquetas de alumínio. Hartung et al, (1994) têm relatado que sob condição de impedimento mecânico do sistema radicular pode produzir ácido abscísico

(ABA), e segundo Raschke et al (1987), esse fitormônio promove o fechamento estomático. Com base nesta informação, pode-se sugerir que, apesar dos efeitos de  $K_L$  sobre  $g_s$ , neste experimento com eucalipto cultivado sob indução de deformações radiculares, o ABA também pode estar envolvido no fechamento estomático e assim, promover reduções nos valores da taxa fotossintética líquida e da transpiração. Ainda, as plantas com raízes crescendo sob condição de confinamento, o que pode representar um impedimento mecânico, apresentam redução na capacidade fotossintética (Goto et al 2002, SHI et al. 2008). Will e Teskey (1997) verificaram, em mudas de pinus, queda na taxa fotossintética líquida à medida que o volume do recipiente foi reduzido de 18,9 para 0,6 litros. Shi et al. (2008), Shi et al. (2007), Netto et al., (2006) e Zhu et al. (2006), os dois primeiros trabalhando com tomate, e os seguintes com café e videira, respectivamente, também verificaram reduções na taxa fotossintética em plantas submetidas ao confinamento do sistema radicular. Entretanto, nestes trabalhos vários efeitos indiretos, que não os efeitos apenas hidráulicos, causaram comprometimentos na assimilação fotossintética do carbono.

A Figura 8 mostra os resultados da eficiência fotoquímica de mudas clonais de eucalipto submetidas a diferentes sistemas de produção.

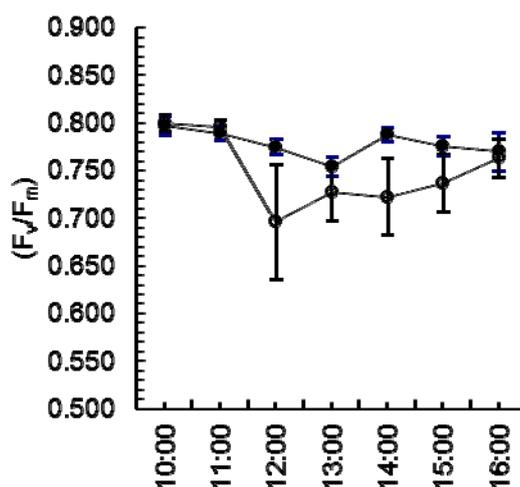


Figura 8: Rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) de mudas clonais de eucalipto nos dois tratamentos (● sem deformação, ◻ com deformação). Barras verticais indicam o erro padrão da média (n=6).

Os resultados mostrados na Figura 8 mostram que, a partir das 12:00h, nas plantas com deformação do sistema radicular, os efeitos não-estomáticos, associados à atividade do fotossistema II, atuaram na diminuição da assimilação fotossintética do carbono. Embora tenha ocorrido recuperação dos valores de  $F_v/F_m$  às 15:00h, neste horário, a taxa fotossintética líquida das plantas com deformação não se recuperou, evidenciando apenas a ação estomática negativa neste horário. Nos horários de maior intensidade luminosa, entre 11:00 e 13:00h, o excesso de energia luminosa promove um estado de estresse fotossintético denominado de fotoinibição (Adir et al., 2003). Esta fotoinibição pode ser avaliada por meio desta relação  $F_v/F_m$  (Rosenqvist e Kooten, 2003), a qual se mostra inferior ao valor de 0,75, quando toda a energia absorvida pelos pigmentos fotossintéticos não consegue ser usada pela fotoquímica da fotossíntese, e este excesso de energia luminosa causa destruição dos centros de reação do fotossistema II. Na Figura 8, este fato se mostra evidente nos horários em que as plantas com deformação radicular receberam maior intensidade luminosa (Figura 4). As plantas com indução de deformações radiculares, como estavam com um estresse hídrico moderado (avaliado pela redução em  $g_s$  e  $E$ , Figura 7), se mostraram mais sensíveis à ação da elevada intensidade luminosa nos horários entre 11:00h e 13:00h. De fato, o estresse hídrico potencializa o efeito fotoinibitório sobre o PSII (Navarilizo e Rascio, 1999), uma vez que sob condição de limitação do acesso do  $CO_2$  aos sítios de carboxilação da rubisco, por meio na redução de  $g_s$ , o processo fotoquímico não consegue dissipar o poder redutor, causando assim danos no PSII (redução em  $F_v/F_m$ ).

Em condição de confinamento do sistema radicular, efeitos não-estomáticos sobre o processo fotossintético têm sido relatados em alguns trabalhos (Tschaplinski e Blake, 1985, Netto et al 2005).

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que em plantas de eucalipto, as deformações físicas causadas pelo recipiente de cultivo podem comprometer as relações hídricas, por meio de reduções na condutividade hidráulica, na condutância estomática e na transpiração, com efeitos sobre a capacidade fotossintética da planta. Sendo assim, torna-se necessário a busca de novas tecnologias para a produção de mudas, especificamente recipientes que favoreçam uma melhor arquitetura do sistema radicular, que dificulte, ou

mesmo impeça a restrição mecânica da raiz, evitando limitações hídricas, por meio de deformações radiculares, e proporcionando um estabelecimento, e crescimento mais vigoroso no campo.

## CONCLUSÕES

A indução de deformações radiculares não resultou em queda no volume de raiz de mudas clonais de eucalipto. Contudo, a indução de deformações radiculares foi responsável pela redução na condutividade hidráulica do sistema radicular e na taxa fotossintética de mudas clonais de eucalipto, sendo esta última afetada por fatores estomáticos e não estomáticos associados à eficiência quântica máxima do fotossistema II.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adir, N., Zer, H., Shochat, S., Ohad, I. (2003) Photoinhibition – a historical perspective. **Photosynthesis Research**, Netherlands, 76: 343-370.
- Atwell, B. J. (1988) Physiological responses of lupin roots to soil compaction. **Plant and Soil**, Crawley, 111: 277-281.
- Barroso, D. G., Carneiro, J. G. de A., Novaes, A. B., Leles, P. S. dos S. (2000) Efeitos do recipiente sobre o desenvolvimento pós-plantio de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla*. **Revista Árvore**, 24(3): 291-296.
- Bengough, A.G., Bransby, M.F., Hans, J., McKenna, S.J., Roberts, T.J., Valentine, T.A. (2006) Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, 57(2): 437–447.
- Bolhàr-Nordenkamp, H. R., Long, S. P., Baker, N. R., Öquist, G., Schreiber, U., Lechner, E. G. (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, 3: 497-514.
- Carmi, A., Heuer, B. (1981) The role of roots in control of bean shoot growth. **Annals of Botany**, 48: 519-527.

- Freitas, T. A. (2003) **Sistema de blocos prensados para produção de mudas de eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 94 p.
- Freitas, T. A. S., Barroso, D. G., Carneiro, J. G. de A., Penchel, R. M., Lamônica, K. R., Ferreira, D. de A. (2005) Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, 29(6): 853 – 861.
- Godoy, L. J. G., Santos, T. S., Villas Bôas, R. L., Leite Júnior, J. B. (2008) Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 32: 217-226.
- Goto, T., Matsuno, T., Yoshida, Y., Kageyama, Y., (2002) Photosynthetic, evapotranspiratory and leaf morphological properties of chrysanthemum grown under root restriction as affected by fertigation frequency. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**. 71: 277–283.
- Guimaraes, C. M.; Moreira, J. A. A. (2001) Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa agropecuaria brasileira**, Brasília, 36(4): 703-707 .
- Hameed, M. A., Reid, J. B., Rowe R. N. (1987) Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Annals of Botany**, Bristol, 59(6): 685-692.
- Hartung, W., Zhang, J., Davies, W. J. (1994) Does abscisic acid play a stress physiological role in maize plants growing in heavily compacted soil? **Journal Experimental Botany**. Oxford, 45(2): 221-226.
- Hendry, G. A. F.; Price, A. H. (1993) Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G. A. F. and Grime J.P. (Eds.) **Methods in comparative plant ecology**. Chapman & Hall, London, 148-152p.
- Huang, B., Eissenstat, D. M. (2000) Linking hydraulic conductivity to anatomy in plants that vary in specific root length. **Journal of the American Society for Horticultural**. 125: 260-264.
- Huang, B., Nobel, P. S. (1994) Root hydraulic conductivity and its components, with emphasis on desert succulents. **Agronomy Journal**, 86: 767–774.

- Hubbard, R. M., Ryan, M. G., Stiller, V., Sperry, J. S. (2001) Stomatal conductance and photosynthesis vary linearly with plant hydraulic conductance in ponderosa pine. **Plant, Cell & Environment**. Logan, 24(1): 113–121.
- Hurley, M. B., Rowart, J. S. (1999) Resistance to root growth and changes in the concentrations of ABA within the root and xylem sap during root-restriction stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, 50(335): 799–804.
- Jackson R. B., Sperry, J. S., Dawson, T. E. (2000) Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. **Trends in Plant Science**. 5: 482-488.
- Materechera, S. A., Dexter, A. R., Altson, A. M. (1991) Penetration of very strong soils by seedlings roots of different plant species. **Plant and Soil**, Crawley, 135: 31-41.
- McElrone, A. J., Pockman, W. T., Martínez-Vilalta, J., Jackson, R. B. (2004) Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth, **New Phytologist**. 163: 507–517.
- Meinzer, F. C., Grantz, D. A. (1990) Stomatal and hydraulic conductance in growing sugarcane: stomatal adjustment to water transport capacity. **Plant, Cell and Environment**. Logan. 13(4): 383–388.
- Navari-Izzo, F.; Rascio, N. (1999) Plant response to water-deficit conditions. **In: Pessarakli, M. ed. Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker Inc, 231–270.
- Netto, A. T., Campostrini, E., Gomes, M. M. A. (2006) Efeitos do confinamento radicular nas medidas biométricas e assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas de *Coffea canephora* Pierre, **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, 12(3): 295-303.
- Netto, A. T., Campostrini, E. (2005) Plantas de *Coffea canephora* Pierre crescidas em confinamento do sistema radicular: teores dos pigmentos fotossintéticos, emissão da fluorescência da clorofila  $\alpha$  e trocas gasosas, **Ceres**, 52(299): 125-139.
- Nikolova, P. S., Blaschke, H., Matyssek, R., Pretzsch, H., Seifert, T. (2009) Combined application of computer tomography and light microscopy for

- analysis of conductive xylem area in coarse roots of European beech and Norway spruce. **European Journal of Forest Research**. 128:145–153.
- Novaes, A. B., Carneiro, J. G. A., Barroso, D. G., Leles, P. S. S. (2002) Comportamento de mudas de *Pinus taeda* produzidas em raiz nua e em dois tipos de recipientes, 24 meses após o plantio. **Floresta**. Curitiba, 31: 62-71.
- Osmont, K. S.; Sibout, R.; Hardtke, C. S. (2007) Hidden Branches: Developments in Root System Architecture. **The Annual Review of Plant Biology**. California, 58: 93–113.
- Peterson, T. A., Reinsel, M. D., Krizek, D. T. (1991) Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'Better Bush') Plant Response to Root Restriction. I. Alteration of Plant Morphology. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, 42(243): 1233-1240.
- Raschke, K. (1987) Action of abscisic acid on guard cells. **IN: Zeiger, E., Farquhar, G. D., Cowan, I. R., eds, Stomatal Function**. Stanford University Press, Stanford, CA, 253–279p.
- Reis, A. R., Junior, E. F., Buzetti, S, Andreotti, M. (2006) Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, 65(1): 163-171.
- Reis, G. G., Reis, M. G. E., Rodrigues, F. L., Bernardo, A. L., Garcia, N. C. P. (1991) Efeito da poda de raízes sobre a arquitetura do sistema radicular e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora* produzidas em tubetes. **Revista Árvore**. Viçosa, 15(1): 43 – 54.
- Rosenqvist, E.; Kooten, O. V. (2003) Chlorophyll fluorescence: a geral description and nomenclature. **IN: DeEll, J. R.; Toivonen, P. M. A. Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology**. Dordrecht. Kluwer academic publishers 259p.
- Rossiello, R. O. P., Araújo, A. P., Manzatto, C. V., Fernandes, M. S. (1995) Comparação dos métodos fotoelétrico e da interseção na determinação da área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 30(5): 633-638.
- Ruff, M. S., Krizek, D. T., Mirecki, R. M., Inoye, D. W. (1987) Restricted Root Zone Volume: Influence on Growth and Development of Tomato. **American Society for Horticultural Science**. Stanford, 112(5): 763-769.

- Saliendra, N. Z., Sperry, J. S., Comstock, J.P. (1995) Influence of leaf water status on stomatal response to humidity, hydraulic conductance, and soil drought in *Betula occidentalis*. **Planta**. Bonn, 196: 357–366.
- Shi, K., Hu, W. H., Dong, D. K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., (2007) Low O<sub>2</sub> supply is involved in the poor growth in root-restricted plants of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Environmental and Experimental Botany**. 61: 181-189.
- Shi, K., Ding, X. T., Dong, D. K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. (2008) Root restriction-induced limitation to photosynthesis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) leaves. **Scientia Horticulturae**. 117: 197-202.
- Solari, L. I., Pernice, F., DeJong, T. M. (2006) The relationship of hydraulic conductance to root system characteristics of peach (*Prunus persica*) rootstocks. **Physiologia Plantarum** 128: 324-333.
- Sperry, J. S., Pockman, W. T. (1993) Limitation of transpiration by hydraulic conductance and xylem cavitation in *Betula occidentalis*. **Plant, Cell and Environment**. 16: 279–287.
- Ternesì, M., Andrade, A. P., Jorriñ, J., Benlloch, M. (1994) Root–shoot signalling in sunflower plants with confined root systems. **Plant and Soil**. Crawley, 166: 31–36.
- Teskey, R. O., Hinckley, T. M., Grier, C. C. (1983) Effect of interruption of flow path on stomatal conductance of *Abies amabilis*. **Journal of experimental botany**. Oxford, 34:1251 – 1259.
- Tschaplinski, T.J., Blake, T.J. (1985) Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings. **Physiologia Plantarum**, Lund, 64(2): 167-176.
- Tyree, M. T. (2003) Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees. **Trees**, 17: 95-100.
- Tyree, M. T., Zimmermann, M.H., (2002) **Xylem Structure and the Ascent of Sap**. Springer Verlag, Berlin.
- Will, R. E., Teskey, R. O., (1997) Effect of elevated carbon dioxide concentration and root restriction on net photosynthesis, water relations and foliar carbohydrate status of loblolly pine seedlings. **Tree Physiology**. 17: 655-661.

Zhu, L., Wang, S., Yang, T., Zhang, C., Xu, W. (2006) Vine growth and nitrogen metabolism of 'Fujiminori' grapevines in response to root restriction, **Scientia Horticulturae**, 107: 143-149.

QUALIDADE FISIOLÓGICA NO VIVEIRO DE MUDAS CLONAIS DE  
EUCALIPTO EM DISTINTAS IDADES DE EXPEDIÇÃO E O CRESCIMENTO  
APÓS O PLANTIO

RESUMO

FIGUEIREDO, Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis. D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Abril de 2011. Qualidade fisiológica no viveiro de mudas clonais de eucalipto em distintas idades de expedição e o crescimento após o plantio. Orientador: José Geraldo de Araújo Carneiro. Co-Orientadores: Ricardo Miguel Penchel, Eliemar Campostrini e José Tarcísio de Lima Thiebaut.

A qualidade de mudas é determinante na sobrevivência, no crescimento e, conseqüentemente, na produtividade das áreas plantadas. Após a sua rustificação, as mudas devem ser plantadas o mais cedo possível. Contudo, isso nem sempre ocorre e é comum o aparecimento de manchas foliares, deformações das raízes e morte de radículas, cujos reflexos são percebidos mais tarde no campo, com a redução do crescimento das plantas. O confinamento do sistema radicular, em recipientes de volume reduzido, causa queda na taxa fotossintética, no potencial hídrico e danos ao fotossistema II, reduzindo a qualidade fisiológica das mudas, com crescentes períodos no viveiro. Este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade fisiológica de mudas clonais do híbrido natural de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em função do tempo de permanência no viveiro e crescimento pós-plantio. Crescentes períodos no viveiro causaram reduções na capacidade fotossintética das mudas, devido a efeitos estomáticos e não estomáticos. Os clones estudados apresentaram comportamento diferenciado em relação aos efeitos do período de rotação no viveiro. O clone A apresentou menor susceptibilidade aos efeitos

deletérios do longo período de confinamento em tubetes de 53 cm<sup>3</sup>. Independente do clone, mudas com idade de expedição de 90 dias apresentaram o maior crescimento tanto em altura e DAP, 24 meses após o plantio.

Palavras-chave: ecofisiologia, *Eucalyptus* spp., idade de expedição, mudas clonais.

## ABSTRACT

FIGUEIREDO, Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis. D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. April, 2011. Physiological quality in the nursery of eucalypt clonal cuttings in different lifting ages and growth after the planting. Advisor: José Geraldo de Araújo Carneiro. Co-Advisors: Ricardo Miguel Penchel, Eliemar Campostrini and José Tarcísio de Lima Thiebaut.

Cuttings quality is a determinant factor on survival and growth, therefore on the planted areas productivity. After the hardening the cuttings should be planted as soon as possible. However, this does not happen always. So, it is usual the appearance of foliar blights, root malformations and death of rootlets whose consequences are later detected with the growth reduction in the field. The root system restriction in small volume containers, promotes decrease of the photosynthetic rate, hydric potential, and damages to the photosystem II, lowering the cutting physiological quality with increasing periods in the nursery. This work had the objective the evaluation of the natural hybrid *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clonal cuttings in function of the stay period in the nursery and the post-planting growth. Increasing periods brought forward photosynthetic capacity reductions due to stomatal and non stomatal effects. The studied clones showed different behavior regarding the stay periods effects in the nursery. The clone A showed lower susceptibility to the injurious effects of long restriction period in 53 cm<sup>3</sup> rigid plastic tubes. Independently of the clone 90 days old cuttings presented higher height and breast height diameter 24 months after the planting.

Keywords: ecophysiology, *Eucalyptus* spp., lifting age, clonal cuttings

## INTRODUÇÃO

Atualmente, a grande maioria das mudas de eucalipto, no Brasil, é produzida pelo processo de clonagem, com o uso de miniestacas. Este processo é definido pelas etapas: a) coleta, preparo e transplante das miniestacas para tubetes; b) período de enraizamento em casas de vegetação com nebulização intermitente; c) período de aclimatização e crescimento em casa de sombra, (sombrite 50%); d) período de rustificação a pleno sol. O período total, dependendo do material genético, da época do ano e da percepção do viveirista, é de 90 a 110 dias para que a muda esteja apta ao plantio.

Contudo, por motivos diversos, como falta de chuvas e atraso no plantio, por exemplo, mudas aptas ao plantio deixam de ser expedidas para o campo e permanecem por semanas ou até poucos meses a mais no setor de rustificação, esperando para serem enviadas ao campo. A extensão deste período poderá induzir ao aumento da área foliar sem o correspondente crescimento de raízes novas, além de contribuir com o aumento do seu custo, seja com mão de obra e fertirrigação.

O pequeno volume de substrato no recipiente induz uma indesejável deformação e lignificação do sistema radicular.

Estudos mostram, para diferentes culturas, que o confinamento do sistema radicular causa queda na taxa fotossintética, no potencial hídrico e danos ao fotossistema II. Alguns autores verificaram uma correlação positiva entre o volume do sistema radicular e a taxa fotossintética da planta (Carmi et al. (1983); Tschaplinski e Blake, 1985; Arp, 1991). Em plantas submetidas ao confinamento do sistema radicular, os processos fisiológicos relacionados com a diminuição do crescimento da parte aérea foram associados ao decréscimo da taxa fotossintética (Ismail e Noor, 1996), e à inibição no transporte de nutrientes (Rieger e Marra, 1994), de água (Hameed et al., 1987) e ao desequilíbrio hormonal (Richards e Rowe, 1977).

De acordo Will e Teskey (1997), ocorre um comportamento diferenciado entre as espécies, com relação à taxa fotossintética, quando submetidas ao confinamento do sistema radicular. De acordo com Ismail e Davies (1998), esta diferença de comportamento, evidenciado em diferentes trabalhos pode estar relacionado ao volume para exploração do sistema radicular e aos métodos de cultivo.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade fisiológica de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em função do tempo de permanência no viveiro e crescimento pós-plantio.

## MATERIAL E MÉTODOS

As mudas foram produzidas no viveiro da empresa FIBRIA Celulose, em Aracruz-ES, entre junho e dezembro de 2008, sendo o plantio realizado neste último em uma área da mesma empresa, em Guaraná, distrito de Linhares-ES, localizado a 40°22'00"W / 19°36'06"S.

Foram utilizadas mudas de três clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aqui chamados A, B e C. 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 (v:v) por fibra de coco (30%), casca de arroz carbonizada (35%), vermiculita (35%), 2,0 kg.m<sup>3</sup> de osmocote (19-6-10) e 2,0 kg.m<sup>3</sup> de super fosfato simples.

As miniestacas foram transplantadas em recipientes de plástico rígido, com 53 cm<sup>3</sup>, em intervalos de 30 dias. Desta forma, foram estabelecidas as seguintes idades: mudas com 180, 150, 120, 90 e 60 dias após o estaqueamento.

No viveiro, ao final da etapa de rustificação, a pleno sol, as mudas foram selecionadas por amostragem simples, em função da altura e do diâmetro do colo médios da população. As mudas foram avaliadas em relação

às trocas gasosas, eficiência fotoquímica e ao potencial hídrico, sendo utilizadas seis mudas por idade de expedição, por clone.

A avaliação de trocas gasosas foi realizada entre 9:00 e 10:00 horas da manhã. As avaliações de fluorescência e potencial hídrico foram realizadas nos períodos de 9:00 às 10:00, 12:00 às 13:00 e 15:00 às 16:00 horas. Em todas as avaliações foram utilizadas folhas plenamente expandidas no terceiro par, a partir do ápice da muda.

Para a avaliação de trocas gasosas, foi utilizado um sistema portátil modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). O rendimento quântico máximo do fotossistema II foi avaliado com o auxílio de um fluorímetro não-modulado modelo PEA (Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, Norfolk, UK). O potencial hídrico foliar foi avaliado utilizando-se uma câmara de pressão (Sholander et al., 1965).

Na instalação do experimento, no campo, foi realizada uma adubação básica com 100 gramas de uma formulação NPK (06-30-06). O experimento foi conduzido em parcelas únicas de 49 plantas (7x7), com espaçamento de 3 x 3 metros, sendo as mudas, nas diferentes idades, plantadas em um mesmo dia, em que não houve a ocorrência de chuva. Por esta razão, procedeu-se uma única irrigação, logo após o plantio, com três litros de água por muda.

Na figura 1 são apresentados os dados climatológicos da área experimental ao longo dos 24 meses de avaliação após o plantio.

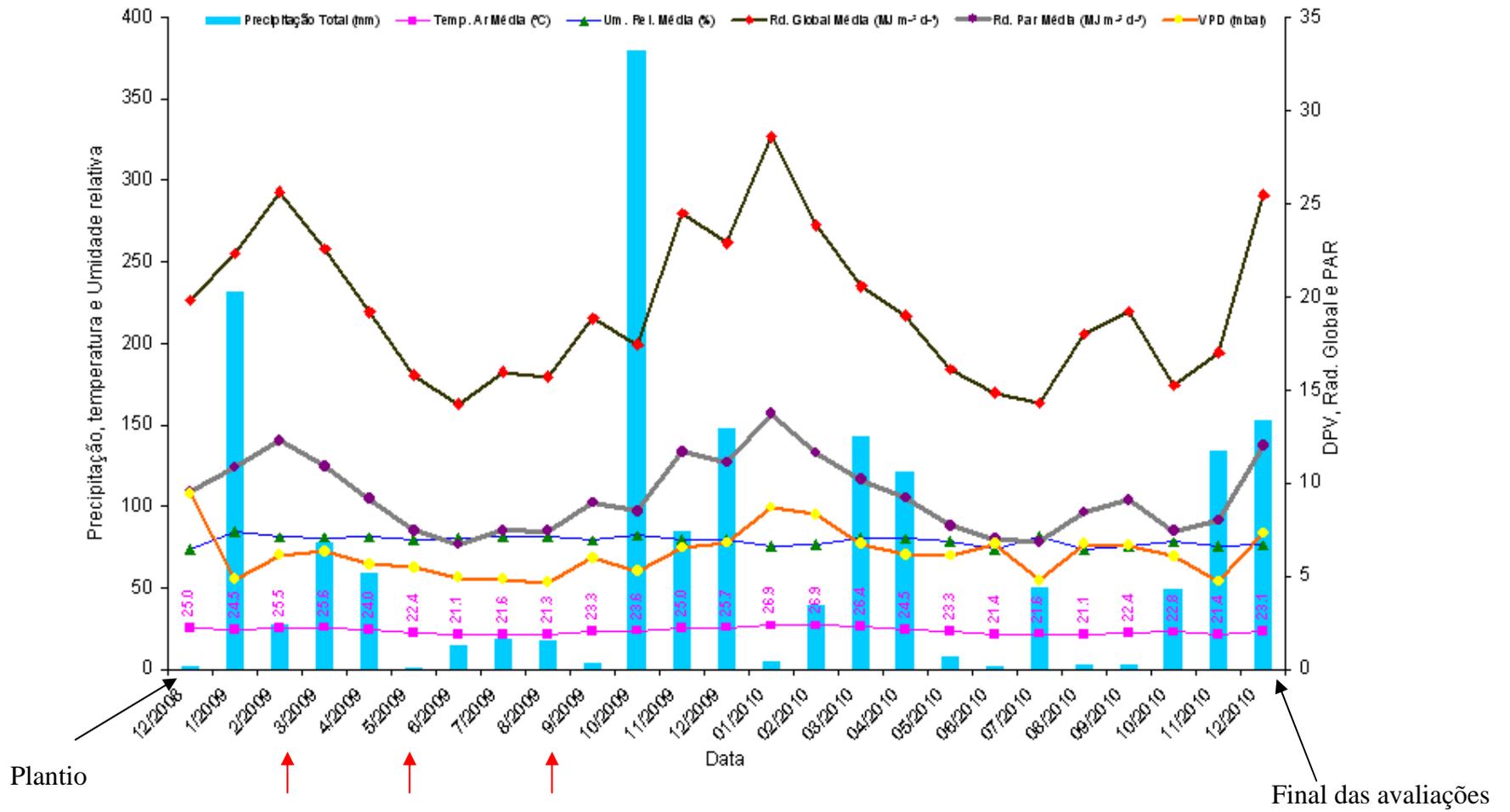


Figura 1: Dados climatológicos da área experimental durante os 24 meses de avaliação, após o plantio. Setas vermelhas indicam os meses de avaliações fisiológicas.

O plantio foi realizado no final do mês de dezembro de 2008. Dois dias após, ocorreu um período prolongado de chuvas, tendo o mês de janeiro de 2009 apresentado uma precipitação de 231,4 mm (Figura 1).

As plantas foram avaliadas em relação ao crescimento em altura e diâmetro à altura do peito (DAP) aos 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24 meses após o plantio e as avaliações de trocas gasosas, fluorescência e potencial hídrico foram realizadas aos 3, 6 e 9 meses.

Para a medição da altura, foi utilizada uma régua graduada ou um hipsômetro, dependendo da altura das plantas. Para a medição do diâmetro foi utilizado uma fita diamétrica.

As avaliações de trocas gasosas e de fluorescência foram realizadas nos horários de 9:00 às 10:00, 12:00 às 13:00 e de 15:00 às 16:00, para a avaliação de potencial hídrico inclui-se o horário de 4:00 às 5:00. Nas idades de 3 e 6 meses foram selecionadas quatro plantas representativas da média de altura e diâmetro da parcela, sendo amostradas duas folhas por planta, nos quadrantes leste e oeste. Na avaliação aos nove meses foram selecionadas duas plantas, pelos mesmos critérios anteriores, sendo avaliadas duas folhas por planta. As avaliações foram realizadas em folhas plenamente expandidas, no terço médio da copa, expostas ao sol, na porção apical dos galhos. Nas avaliações fisiológicas foram utilizados os mesmos equipamentos das análises de viveiro.

Para as variáveis fisiológicas de viveiro e campo, os dados foram analisados utilizando métodos de amostragem simples ao acaso, com objetivo de verificar o tamanho amostral para uma população infinita de mudas, considerando o nível de significância de 5% de probabilidade e um desvio (d) de 10% em torno da média da amostra. Após o dimensionamento foram obtidos os intervalos de confiança para as características avaliadas a 95% de probabilidade. Para as avaliações de crescimento em altura e diâmetro, no campo, em função da época, após o dimensionamento da amostra para o nível de significância de 5% e um desvio de 10% da média da amostra foi utilizado o método de regressão linear com identidade de modelo para tratamento (idade de expedição das mudas), considerando o modelo linear até segundo grau.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2 são apresentados resultados da taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração de mudas clonais de eucalipto em função da duração do período de rotação no viveiro.

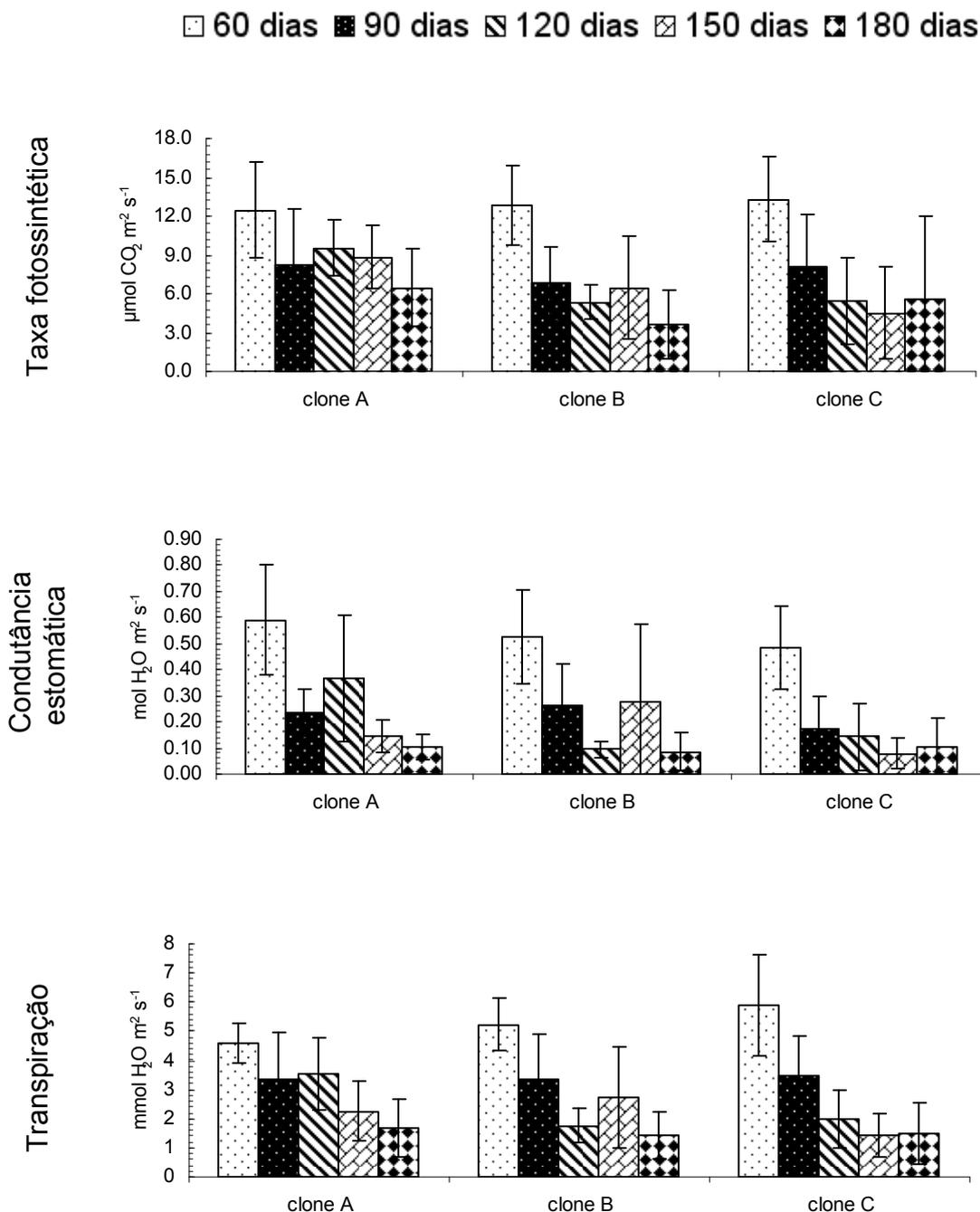


Figura 2: Taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração de mudas de três clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em função do período de rotação no viveiro.

Barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade (n=6)

A figura 2 mostra tendência de queda na taxa fotossintética, causada pela redução na condutância estomática e transpiração das mudas no viveiro, à medida que o tempo de permanência nos recipientes foi maior.

Reis et al. (2008) indicam o período entre 100 e 115 dias, como o adequado para expedição de mudas de eucalipto em tubetes de 53 cm<sup>3</sup>,

contudo produzidas por sementes. Mafia et al. (2005) avaliaram, também, o período de rotação no viveiro de mudas clonais de eucalipto, também em tubetes de 53 cm<sup>3</sup>. Os autores verificaram que a limitação de substrato nesse volume de recipiente afetou o acúmulo de biomassa radicular ao longo do tempo, paralisando o seu crescimento. Com base em avaliações de altura, massa seca da parte aérea e do sistema radicular, os autores concluíram que o período de 80 a 110 dias é suficiente para a expedição de mudas de boa qualidade, mas dependendo do material genético.

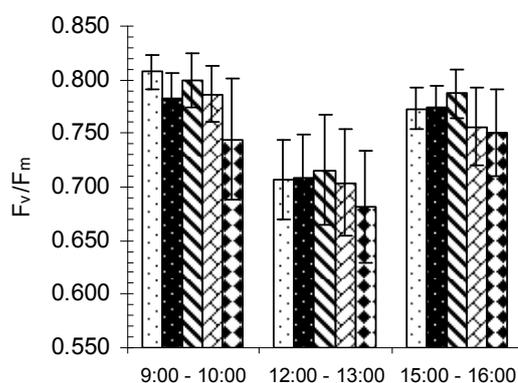
Pode-se, então, inferir que à medida que o substrato disponível para o crescimento das mudas proporciona um confinamento e à medida que o período de permanência das mudas nos recipientes for aumentado, intensificam-se os danos ao sistema radicular. A literatura relata que um dos efeitos do confinamento radicular é a redução da taxa fotossintética das plantas (Shi et al., 2008 ; Shi et al., 2007; Netto et al., 2006; e Zhu et al., 2006), o que está de acordo com os dados apresentados (Figura 2). De acordo com Pandolfi (2009), as taxas fotossintéticas de plantas em rustificação são, geralmente, baixas em consequência da baixa condutância estomática e baixo potencial nutricional das plantas. De acordo com o autor, este fato é devido à restrição da fertilização nitrogenada durante esse período para evitar a expansão foliar e o crescimento em altura.

Segundo Will e Teskey, (1997) ocorre um comportamento diferenciado entre as espécies, com relação à taxa fotossintética, quando submetidas ao confinamento do sistema radicular. Essa informação, também, converge com os dados encontrados no presente trabalho, que apontam que rotações mais prolongadas exerceram maior confinamento e maiores danos aos clones B e C. O clone A apresentou uma menor interferência do período de rotação e sua influência no confinamento sobre as trocas gasosas. Contudo, nos três clones estudados, ocorreu uma queda na taxa fotossintética a partir dos 90 dias de permanência no viveiro (Figura 2).

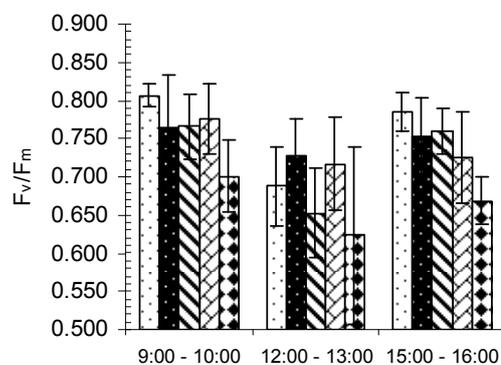
Na figura 3 são apresentados os resultados da eficiência fotoquímica de mudas clonais de eucalipto em diferentes horários em função do período de rotação no viveiro.

□ 60 dias ■ 90 dias ▨ 120 dias ▩ 150 dias ▤ 180 dias

Clone A



Clone B



Clone C

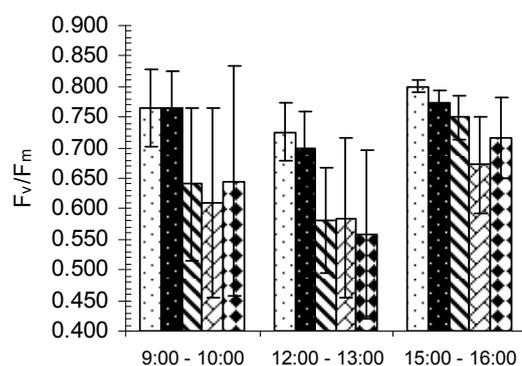


Figura 3. Rendimento quântico máximo do fotossistema II de mudas de três clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em diferentes horários em função do período de rotação no viveiro.

Barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade (n=6)

A figura 3 retrata o comportamento das mudas dos diferentes clones em três períodos do dia, mostrando que nos horários mais quentes ocorre uma

queda na relação  $F_v/F_m$  nas mudas, principalmente, nas que permaneceram por maiores períodos nos recipientes. De acordo com Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989), a relação  $F_v/F_m$  pode variar em uma faixa de 0,75 a 0,85 em plantas não submetidas a estresse. A diminuição da relação  $F_v/F_m$  é um indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse (Yang et al., 1996).

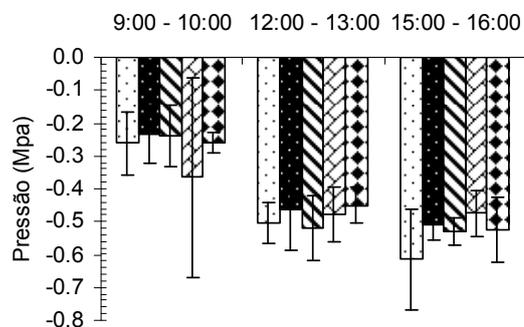
Para os três clones, em todos os horários, as mudas de 180 dias apresentaram relação  $F_v/F_m$ , na maioria dos casos, abaixo do valor 0,750, mostrando, estas, estarem sob estresse. No período entre 9:00 e 10:00 horas, para os clones A e B, apenas as mudas de 180 dias apresentaram relação  $F_v/F_m$  abaixo de 0,750. Para o clone C, mudas de 120, 150 e 180 dias apresentaram estresse nesse mesmo período. No período de 12:00 às 13:00, as mudas, nas diferentes idades, de todos os três clones, apresentaram relação  $F_v/F_m$  abaixo de 0,750. Contudo, para o clone C, as mudas de 60 e 90 dias apresentaram relação  $F_v/F_m$  muito superior em relação às outras três idades. No último horário de avaliação as mudas, nas diferentes idades, apresentaram recuperação, evidenciada pelo aumento na relação  $F_v/F_m$ . As mudas com 60 e 90 dias para o clone B, e mudas com 60, 90 e 120 dias para o clone C, apresentaram recuperação na relação  $F_v/F_m$ . Em relação à eficiência fotoquímica, o clone C, de forma geral, apresentou maior sensibilidade ao tempo de confinamento nos recipientes (Figura 3).

Estes resultados estão de acordo com Barja (2003) e Netto (2005), trabalhando com mudas de eucalipto e café, respectivamente. Ambos os autores observaram redução na relação  $F_v/F_m$  à medida que foi intensificado a restrição ao crescimento das raízes, com a redução do volume de substrato para a produção das mudas.

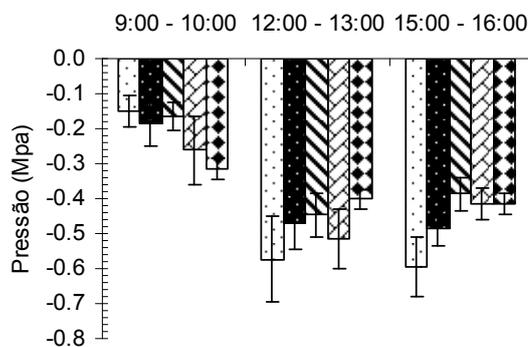
A Figura 4 apresenta os resultados do potencial hídrico foliar de mudas clonais de eucalipto em diferentes horários do dia, em função do período de rotação no viveiro.

□ 60 dias ■ 90 dias ▨ 120 dias ▩ 150 dias ▩ 180 dias

Clone A



Clone B



Clone C

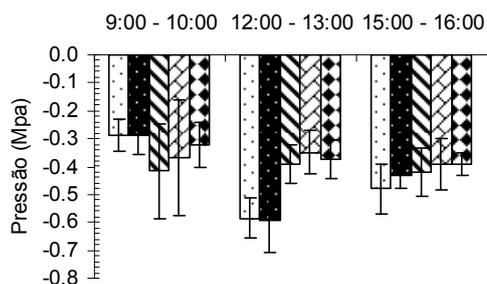


Figura 4. Potencial hídrico foliar de mudas clonais de três híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em diferentes horários do dia, em função do período de rotação no viveiro.

Barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade (n=6)

De acordo com Larcher (2004), com o déficit hídrico, ocorre uma redução na atividade fotossintética, paralela a uma redução do volume celular

e, portanto, queda da turgescência. Sendo assim, a taxa fotossintética líquida pode ser afetada pela redução do potencial hídrico foliar.

Na figura 4, para os três clones avaliados, de forma geral os tratamentos compostos por mudas de 60 e 90 dias apresentaram potencial hídrico foliar menos negativo no período mais fresco do dia, entre 9:00 e 10:00 horas. Contudo, nos períodos mais quentes, de 12:00 às 13:00 e de 15:00 às 16:00 horas esses tratamentos apresentaram os valores mais negativos de potencial hídrico. Este comportamento pode estar relacionado ao fato das mudas destes dois tratamentos apresentarem menor rusticidade dos tecidos foliares. Stape et al.,2001) relatam que plantas rustificadas estão relacionadas à baixa transpiração e a uma melhor regulação osmótica, o que está de acordo com os dados apresentados neste trabalho. Como descrito na metodologia, os tratamentos compostos por mudas de 60 e 90 dias permaneceram 0 e 30 dias no setor de rustificação, respectivamente. Por outro lado, os demais tratamentos que apresentaram potencial hídrico menos negativo permaneceram por no mínimo 60 dias no setor de rustificação.

O quadro 1 mostra os resultados de crescimento em altura após o plantio das mudas clonais de eucalipto no campo.

Quadro 1. Equação de regressão para altura de plantas clonais de três híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 24 meses após o plantio.

Clone A	Mudas com 60 dias	= $-0.009x^2 + 0.7974x - 1.1950$
	Mudas com 90 dias	= $-0.009x^2 + 0.7974x - 0.8774$
	Mudas com 120 dias	= $-0.009x^2 + 0.7974x - 0.9090$
	Mudas com 150 dias	= $-0.009x^2 + 0.7974x - 0.9462$
	Mudas com 180 dias	= $-0.009x^2 + 0.7974x - 0.9298$
R2 = 0,9956		
Clone B	Mudas com 60 dias	= $-0.0141x^2 + 1.0143x - 1.9755$
	Mudas com 90 dias	= $-0.0141x^2 + 1.0143x - 1.9943$
	Mudas com 120 dias	= $-0.0141x^2 + 1.0143x - 1.9869$
	Mudas com 150 dias	= $-0.0141x^2 + 1.0143x - 1.9871$
	Mudas com 180 dias	= $-0.0141x^2 + 1.0143x - 1.9956$
R2 = 0,9927		
Clone C	Mudas com 60 dias	= $-0.0132x^2 + 0.894x - 1.6431$
	Mudas com 90 dias	= $-0.0132x^2 + 0.894x - 1.3469$
	Mudas com 120 dias	= $-0.0132x^2 + 0.894x - 1.4710$
	Mudas com 150 dias	= $-0.0132x^2 + 0.894x - 1.2551$
	Mudas com 180 dias	= $-0.0132x^2 + 0.894x - 1.4911$
R2 = 0,9944		

Em relação à altura de plantas, 24 meses após o plantio, para o clone A, o tratamento que apresentou maior crescimento foi o de mudas com idade de expedição de 90 dias. Para o clone B o tratamento que apresentou maior crescimento foi o composto por mudas de 60 dias e para o clone C foi o tratamento com mudas de 150 dias, seguido por mudas com idade de expedição de 90 dias. Nota-se que as diferenças entre tratamentos são bem pequenas, sempre evidenciadas pelo intercepto da curva (Quadro 1).

Infere-se que os resultados de campo possam ter sido influenciados pelo componente genético (clones de alto rendimento) e pelo ambiente favorável logo após o plantio, com boa disponibilidade de água e um baixo déficit de pressão de vapor. Nos quatro meses subsequentes ao plantio, a precipitação registrada foi de 395 mm, sendo 231 mm só no primeiro mês (Figura 1).

Mudas já poderão estar aptas para o plantio com 80 a 110 dias, dependendo do material genético, como mostra os resultados de Mafia et al., (2005). Embora não estudado neste trabalho, é indiscutível que a manutenção de mudas por um período acima do adequado, mesmo que não acarrete em redução no crescimento no campo em períodos com boa disponibilidade de chuva, acarretará em um aumento do seu custo de produção, seja no consumo de água, adubo, espaço físico e mão de obra. Neste sentido, recomenda-se o estudo do comportamento de mudas com diferentes idades para plantio em uma época com menor disponibilidade de água.

O quadro 2 apresenta os resultados de crescimento, pós-plantio, em DAP de plantas clonais de eucalipto.

Quadro 2. Equação de regressão para DAP de plantas clonais de três híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 24 meses após o plantio.

Clone A	Mudas com 60 dias	= $-0.0196x^2 + 0.9964x - 2.7868$
	Mudas com 90 dias	= $-0.0196x^2 + 0.9964x - 2.7674$
	Mudas com 120 dias	= $-0.0196x^2 + 0.9964x - 2.7868$
	Mudas com 150 dias	= $-0.0196x^2 + 0.9964x - 2.7716$
	Mudas com 180 dias	= $-0.0196x^2 + 0.9964x - 2.7792$
R2 = 0,9948		
Clone B	Mudas com 60 dias	= $-0.02x^2 + 1.0303x - 2.8069$
	Mudas com 90 dias	= $-0.02x^2 + 1.0303x - 2.8069$
	Mudas com 120 dias	= $-0.02x^2 + 1.0303x - 2.8069$
	Mudas com 150 dias	= $-0.02x^2 + 1.0303x - 2.8128$
	Mudas com 180 dias	= $-0.02x^2 + 1.0303x - 2.8069$
R2 = 0,9929		
Clone C	Mudas com 60 dias	= $-0.02x^2 + 1.0254x - 3.1813$
	Mudas com 90 dias	= $-0.02x^2 + 1.0254x - 3.0347$
	Mudas com 120 dias	= $-0.02x^2 + 1.0254x - 3.1813$
	Mudas com 150 dias	= $-0.02x^2 + 1.0254x - 3.1813$
	Mudas com 180 dias	= $-0.02x^2 + 1.0254x - 3.1813$
R2 = 0,9929		

Os resultados do crescimento em DAP, no quadro 2, assim como para a altura, mudas com idade de expedição de 90 dias apresentaram maior crescimento nos clones A, B e C. De acordo com Barnett e McGilvray (1981), quando as condições da área de plantio não forem desfavoráveis à sobrevivência e ao crescimento inicial das mudas, a avaliação da sua qualidade não é tão primordial.

A Figura 5 mostra os dados de trocas gasosas de plantas clonais do híbrido em estudo três meses após o plantio em diferentes horários do dia.

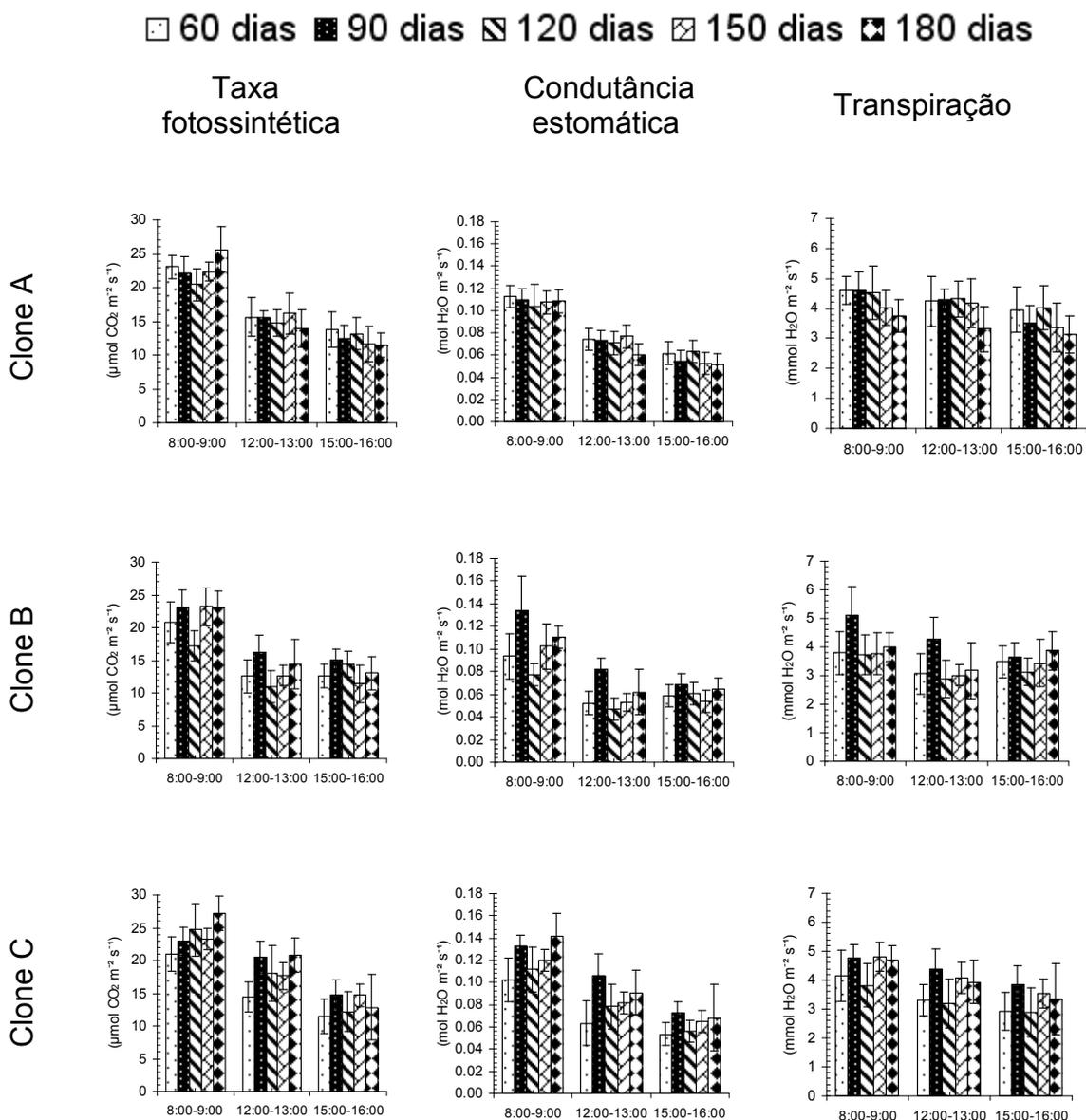


Figura 5: Trocas gasosas de plantas clonais de três híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, três meses após o plantio no campo, em diferentes horários do dia.

Barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade (n= 8)

Independente do clone, a taxa fotossintética foi maior no primeiro período de avaliação, entre 8:00 e 9:00 horas da manhã, sendo os dados convergentes com os valores de condutância estomática e transpiração. Verifica-se, que na maioria dos casos, para todos os clones, não ocorreu diferença significativa nos valores de taxa fotossintética das plantas. A produtividade das florestas é dependente da interceptação da radiação solar e da alocação dos compostos de carbono, formadas durante o processo fotossintético nos diferentes compartimentos da planta (Kozlowski & Pallardy,

1996). Neste sentido, os resultados apresentados corroboram com o fato de não ter ocorrido diferença no crescimento das plantas, neste mesmo período e que o prolongado período de chuvas (Figura 1) contribuiu para um melhor estabelecimento das plantas (Figura 5).

A Figura 6 apresenta os dados de trocas gasosas de plantas clonais de eucalipto, seis meses após o plantio em diferentes horários do dia.

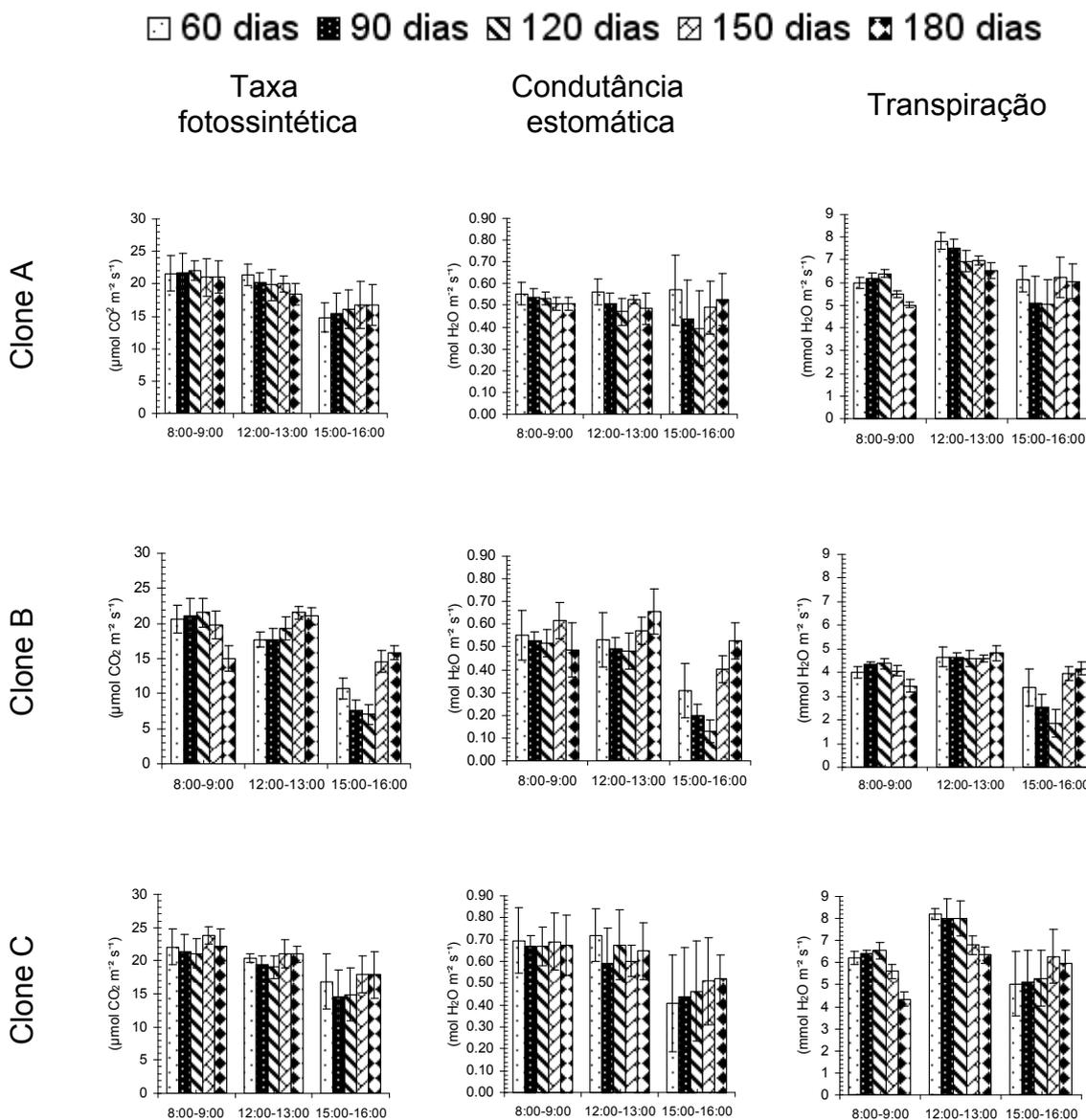


Figura 6: Trocas gasosas de plantas clonais de três híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, seis meses após o plantio no campo, em diferentes horários do dia.

Barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade (n=8)

Diferentemente do ocorrido aos três meses (Figura 5), a avaliação de trocas gasosas aos seis meses apresenta uma menor variação dos resultados de trocas gasosas nos diferentes horários, nos três clones. A exceção ocorre para o clone C no horário de 15:00 às 16:00, principalmente para os tratamentos compostos por muda de 60, 90 e 120 dias (Figura 6).

A Figura 7 mostra os dados de trocas gasosas de plantas clonais do híbrido nove meses após o plantio em diferentes horários do dia.

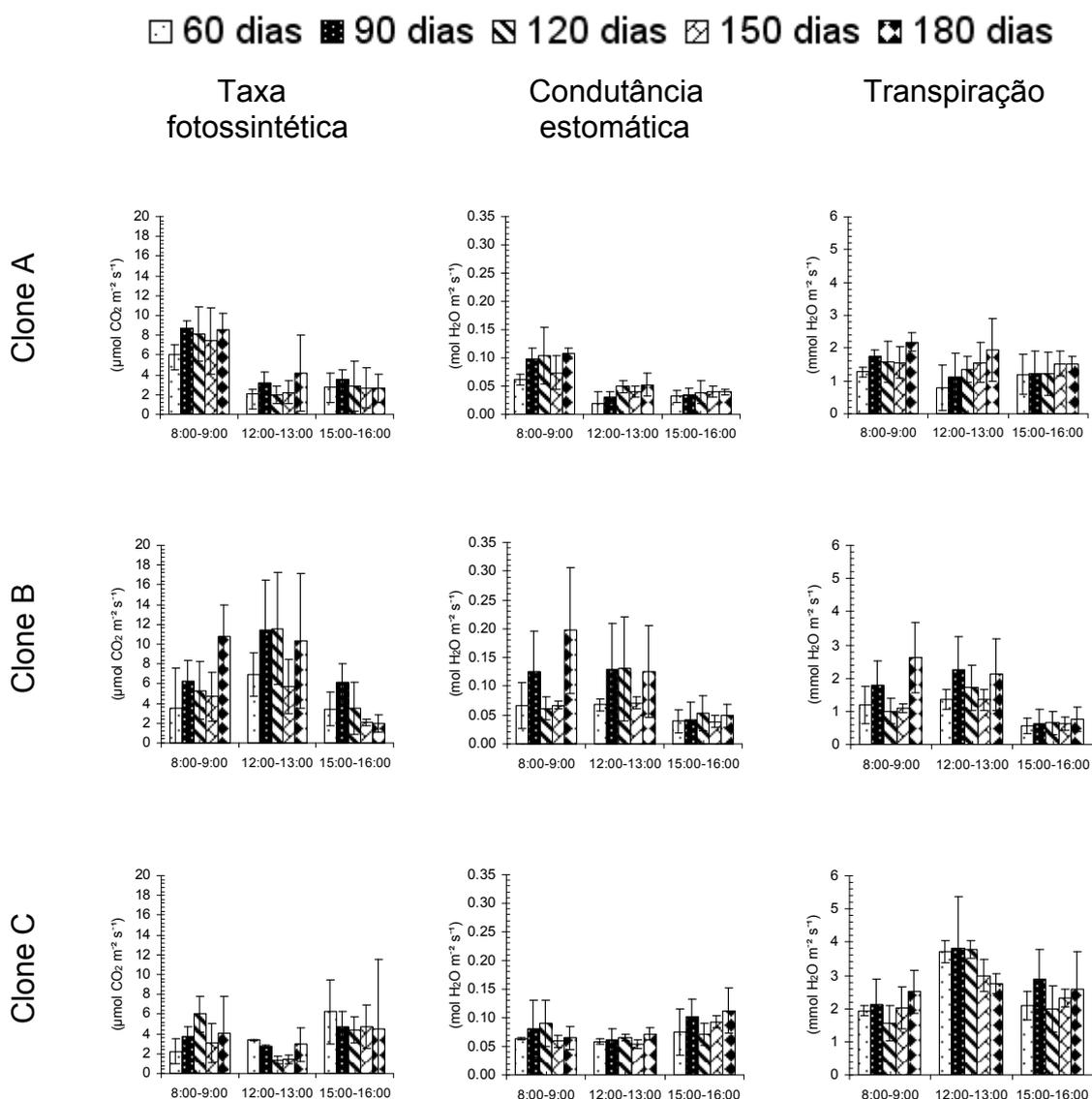


Figura 7: Trocas gasosas de plantas clonais de três híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, nove meses após o plantio no campo, em diferentes horários do dia.

Barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade (n=4)

Aos nove meses, os clones apresentaram comportamento diferenciado em função do horário de avaliação. As plantas do clone A apresentaram maiores taxas fotossintéticas no período entre 8:00 e 9:00 da manhã, enquanto as plantas do clone B apresentaram maior taxa fotossintética no período entre 12:00 e 13:00 horas. As plantas do clone C apresentaram pouca variação na taxa fotossintética, nos diferentes horários de medição (Figura 7). A Figura 8 apresenta os dados de eficiência fotoquímica de plantas clonais de eucalipto aos 3, 6 e 9 meses após o plantio em diferentes horários do dia.

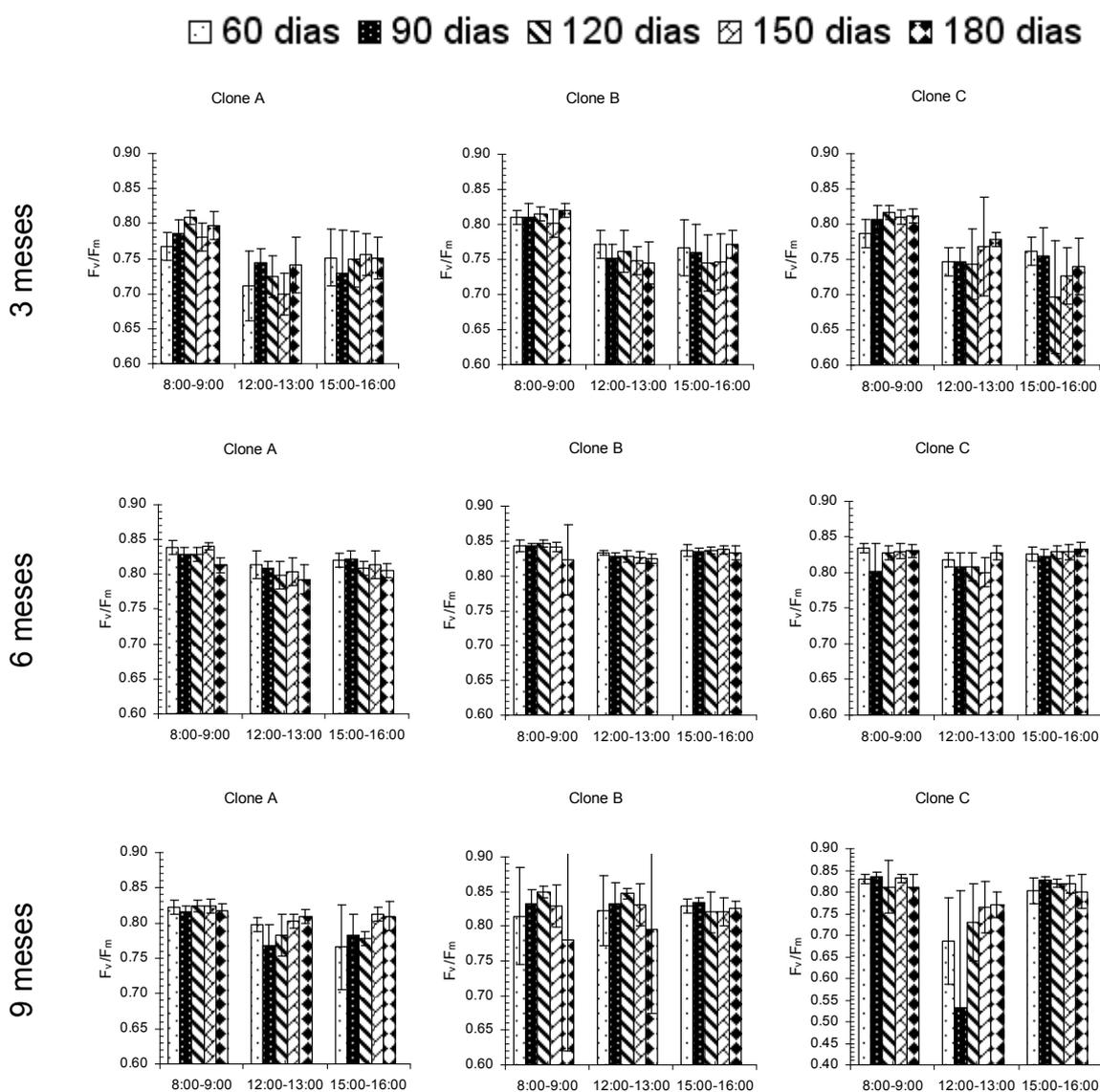


Figura 8: Rendimento quântico do fotossistema II de plantas de três híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 3, 6 e 9 meses após o plantio no campo, em diferentes horários.

Barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Aos 3 e 6 meses n= 8 e aos 9 meses n=4

Corroborando com os dados de trocas gasosas aos três meses, houve uma queda na eficiência fotoquímica das plantas, também, entre o primeiro e os demais horários de avaliação. Aos seis meses, no clone B, no período entre 15:00 e 16:00 horas os tratamentos compostos por mudas de 60, 90 e 120 dias apresentaram queda na taxa fotossintética, sendo os reflexos verificados na condutância estomática e na transpiração. Contudo, não foram verificadas reduções na eficiência fotoquímica das plantas. Aos nove meses, apenas para o clone C, foram verificados valores de eficiência fotoquímica abaixo dos indicados por Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989), nos tratamentos compostos por mudas de 60, 90 e 120 dias (Figura 8).

De acordo com Tatagiba (2006), muitas vezes verifica-se uma correlação significativa entre a taxa fotossintética líquida e o crescimento das plantas sob condições ambientes controladas. Contudo, segundo o autor, nas plantas crescendo em condições de campo, a fotossíntese e a partição de assimilados são constantemente afetadas pela maior ou menor disponibilidade de água e de nutrientes.

A Figura 9 mostra os dados de potencial hídrico foliar de plantas clonais do híbrido aos 3, 6 e 9 meses após o plantio em diferentes horários do dia.

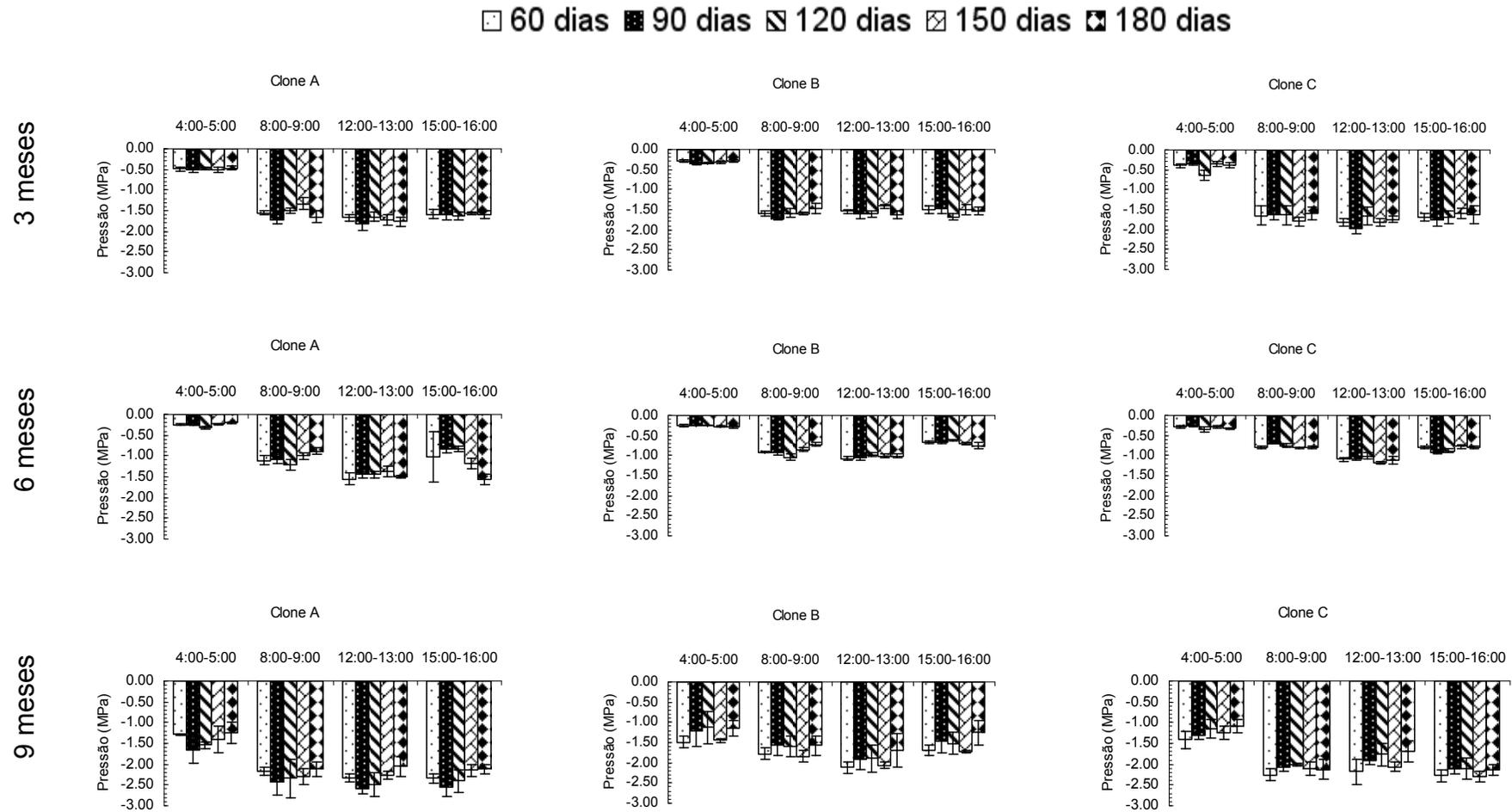


Figura 9: Potencial hídrico foliar de plantas de três híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 3, 6 e 9 meses após o plantio no campo, em diferentes horários.

Barras verticais indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Aos 3 e 6 meses n= 8 e aos 9 meses n=4

Os dados da figura 9 mostram que, aos 3 e 6 meses, em todos os tratamentos, os diferentes clones apresentaram um potencial hídrico menos negativo no período entre 4:00 e 5:00h, ficando mais negativo à medida que se aproxima dos períodos mais quentes. Convergindo com os dados de trocas gasosas aos nove meses (Figura 7), os resultados de potencial hídrico neste mesmo período também apresentaram, em todos os horários, os valores mais negativos, mostrando que a queda na taxa fotossintética não estava associada apenas aos efeitos estomáticos. Por outro lado, só foi verificada queda na eficiência fotoquímica em três dos cinco tratamentos do clone C (Figura 8).

O crescimento em altura e DAP (Quadros 1 e 2) é em parte, também explicado pelo comportamento do funcionamento fisiológico das plantas após o plantio (Figuras 5, 6, 7, 8 e 9). Mesmo que, após o plantio, as mudas estejam sujeitas a novas condições edafoclimáticas diferentes das que se encontravam no viveiro, elas passam, também, por transformações que as tornam capazes de ser mais competitivas, como a emissão de novas raízes, aumentando a sua capacidade de aquisição de recursos.

De acordo com Gholz (1990), a disponibilidade de água, afeta o crescimento das plantas por controlar a abertura e fechamento estomático. Com a redução da disponibilidade de água no solo, o potencial hídrico foliar torna-se mais negativo, contribuindo para a redução da condutância estomática, e promovendo o fechamento total ou parcial dos estômatos. Com o fechamento estomático, o influxo de CO<sub>2</sub> para as folhas é reduzido, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que acarretará em queda da produtividade. Pode-se observar que as taxas fotossintéticas das plantas de todos os tratamentos, nos diferentes clones foram menores na avaliação feita aos nove meses após o plantio (Figura 7). Este resultado está associado ao potencial hídrico das plantas na mesma época (Figura 9), que por sua vez foi influenciado pela baixa precipitação pluviométrica, 3 mm, para o período em questão (Figura 1).

## CONCLUSÕES

O aumento no tempo de rotação das mudas no viveiro causa reduções na capacidade fotossintética das mudas, sendo a queda relacionada a efeitos estomáticos e não estomáticos.

Os clones estudados apresentaram comportamento diferenciado em relação aos efeitos do período de rotação no viveiro, tendo o clone A apresentado menor susceptibilidade aos efeitos deletérios do longo período de confinamento em recipientes de 53 cm<sup>3</sup>.

Independente do clone avaliado, mudas com idade de expedição de 90 dias apresentaram o maior crescimento tanto em altura, quanto em DAP, 24 meses após o plantio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arp, W.J. (1991) Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO<sub>2</sub>. **Plant, Cell and Environment**, Logan, 14(8): 869-875.
- Barja, P. R., Mansanares, A. M., Silva, E. C.; Alves, P. L. C. A. (2003) Photoacoustics as a tool for the diagnosis of radicular stress: Measurements in eucalyptus seedlings. **Review of Scientific Instruments**. 74: 709-711.
- Barnett, J. P.; McGilvray, J. M. (1981) Container planting systems for the South. Res. Pap. SO. USDA. **Forest Service**, 167: 1-18.
- Bolhàr-Nordenkamp, H. R., Long, S. P., Baker, N. R., Öquist, G., Schreibers, U., Lechner, E. G. (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, 3: 497-514.
- Carmi, A., Hesketh, J.D., Enos, W.T., Peters, D. B. (1983) Interrelationship between shoot growth and photosynthesis as affected by root growth restriction. **Photosynthetica**, Praga, 17(2): 240 - 245.
- Gholz, H.L., Ewel, K.C., Teskey, R.O. (1990) Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, 30: 1-18.

- Hameed, M. A., Reid, J. B., Rowe R. N. (1987) Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Annals of Botany**, Bristol, 59(6): 685-692.
- Ismail, M. R., Davies, W. J. (1998) Root restriction affects leaf growth and stomatal response: the role of xylem sap ABA. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 74(4): 257-268.
- Ismail, M. R., Noor, K. M. (1996) Growth, water relations and physiological process of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under root growth restriction. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 66(1-2): 51-58.
- Koslowski, T.T., Pallardy, S.G. (1996) **Physiology of woody plants**, 2.ed. San Diego, Academic Press, 411p.
- Larcher, W. (2004) **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 531 p.
- Mafia, R. G., Alfenas, A. C., Siqueira, L., Ferreira, E. M., Leite, H. G., Cavallazzi, J. R. P. (2005) Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, 29(6): 947-953.
- Netto, A. T., Campostrini, E., Gomes, M. M. A. (2006) Efeitos do confinamento radicular nas medidas biométricas e assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas de *Coffea canephora* Pierre, **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, 12(3): 295-303.
- Netto, A. T., Campostrini, E. (2005) Plantas de *Coffea canephora* Pierre crescidas em confinamento do sistema radicular: teores dos pigmentos fotossintéticos, emissão da fluorescência da clorofila  $\alpha$  e trocas gasosas, **Revista Ceres**, 52(299): 125-139.
- Pandolfi, F. (2009) **Avaliação de parâmetros de rusticidade de mudas clonais de eucalipto e suas influências no crescimento inicial do povoamento**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Alegre, ES. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, 134 p.
- Reis, E. R., Lúcio, A. D. C., Fortes, F. O., Lopes, S. J., Silveira, B. D. (2008) Período de permanência de mudas de *eucalyptus grandis* em viveiro baseado em parâmetros morfológicos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, 32(5): 809-814.

- Richards, D., Rowe, R. N. (1977) Effects of root restriction, root pruning, and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. **Annals of Botany**, Bristol, 41(4): 729-740.
- Rieger, M., Marra, F. (1994) Responses of young peach trees to root confinement. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, 119(2): 223-228.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A. (1965) Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. **Science**, 148: 339-346.
- Shi, K., Hu, W. H., Dong, D. K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., (2007) Low O<sub>2</sub> supply is involved in the poor growth in root-restricted plants of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Environmental and Experimental Botany**. 61: 181-189.
- Shi, K., Ding, X. T., Dong, D. K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. (2008) Root restriction-induced limitation to photosynthesis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) leaves. **Scientia Horticulturae**. 117: 197-202.
- Stape, J. L., Gonçalves, J. L. de M., Gonçalves, A. N. (2001) Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil. **New Forests**, Netherlands, 22: 19-41.
- Tatagiba, S. D. (2006) **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Alegre-ES, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 110p.
- Tschaplinski, T.J., Blake, T.J. (1985) Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings. **Physiologia Plantarum**, Lund, 64(2): 167-176.
- Will, R. E., Teskey, R. O., (1997) Effect of elevated carbon dioxide concentration and root restriction on net photosynthesis, water relations and foliar carbohydrate status of loblolly pine seedlings. **Tree Physiology**. 17: 655-661.
- Yang, G. P., Rhodes, D., Joly, R. J. (1996) Effects of high temperature on membrane stability and chlorophyll fluorescence in glycinebetaine-deficient and glicinibetaine-containing maize lines. **Australian Journal of Plant Physiology**. 23(4): 437-443.

Zhu, L., Wang, S., Yang, T., Zhang, C., Xu, W. (2006) Vine growth and nitrogen metabolism of 'Fujiminori' grapevines in response to root restriction, **Scientia Horticulturae**, 107: 143-149.

CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DE MUDAS  
DE TRÊS CLONES DE EUCALIPTO E SEU DESEMPENHO APÓS O  
PLANTIO

RESUMO

FIGUEIREDO, Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis. D.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Abril de 2011. Correlações entre características de qualidade de mudas de três clones de eucalipto e seu desempenho após o plantio . Orientador: José Geraldo de Araújo Carneiro. Co-Orientadores: Ricardo Miguel Penchel e José Tarcísio de Lima Thiebaut.

As características morfológicas são os atributos mais utilizados para determinar o padrão de qualidade das mudas em viveiros florestais. Muitos experimentos têm mostrado a sua importância no crescimento das plantas no campo. A maior parte dos trabalhos foi realizada usando sementes. Contudo, não há, ainda, uma correta definição dos padrões de qualidade. Desta forma, são necessários mais estudos buscando a caracterização de qualidade para mudas clonais. Este trabalho teve como objetivo estudar a correlação de diferentes características de mudas, no viveiro, de três clones de eucalipto e o crescimento após o plantio. As características que apresentaram maior correlação com o crescimento inicial das plantas no campo, aos 3 e 6 meses após o plantio, foram a altura, o diâmetro de colo, o número de pares de folha, o número de deformações radiculares, a relação entre a copa da muda e sua altura e o comprimento do torrão. Aos 12 e 24 meses após o plantio as características que apresentaram maior correlação foram a altura, o diâmetro de colo, o número de pares de folhas, o número de deformações radiculares e o aspecto fitossanidade. As deformações radiculares não interferiram no crescimento inicial das plantas em condições de alta precipitação pluviométrica.

Contudo, os efeitos se tornaram prejudiciais ao longo do tempo, acarretando em redução do crescimento das plantas.

Palavras-chave: mudas clonais, *Eucalyptus* spp, viveiro

## ABSTRACT

Morphological characteristics are the most used attributes to determine cutting quality standards in forest nurseries. Many experiments showed their importance on the growth of plants in the field. The most part of the papers were carried out using seeds. However, it does not still exist a correct definition of the cuttings quality standard. So, it is necessary more studies looking for cutting quality standardization. This work had as objective to study the correlations of different nursery characteristics of three eucalipt clonal cuttings and their post planting growth. The characteristics that showed higher correlation with the initial growth 3 and 6 months after the planting were height, root collar diameter number of leaf pairs, number of root malformations, cuttings crown/height and clod's length. At 12 and 24 months after the planting the characteristics that showed higher correlation were height, root collar diameter, number of leaf pairs, number of malformation roots and the plant health. The root malformations did not show interference on the initial growth of the plants under high rainy conditions. However the effects became deleterious along the time, promoting plant growth decrease.

Keywords: clonal cuttings, *Eucalyptus* spp., nursery

## INTRODUÇÃO

Em 2009 a área total de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil atingiu 6.310.450 ha, apresentando um crescimento de 2,5 % em relação ao total de 2008, considerado modesto tendo em vista o crescimento médio anual de 5,5 % no período de 2005 a 2008. Contudo, a área de florestas com eucalipto está em franca expansão na maioria dos estados brasileiros com tradição na silvicultura, ou em estados considerados como novas fronteiras, com crescimento médio no país de 7,1% ao ano, entre 2004-2009 (ABRAF, 2010). A abertura de novas fronteiras remete a necessidade de novos estudos para identificar características pontuais do processo de produção nestes novos ambientes. Segundo Souza-Silva et al. (2006), o investimento em pesquisas, em novas tecnologias, no setor florestal é de fundamental importância para a sobrevivência e sustentabilidade econômica, com o fim de evitar que o Brasil perca mercado para outros países.

A produção e utilização de mudas de boa qualidade para plantios comerciais são de suma importância quando se pretende alcançar alta produtividade do povoamento. De acordo com Carneiro (1983), os critérios para a classificação da qualidade de mudas baseiam-se em aumento da sobrevivência e o crescimento inicial do povoamento recém-implantado.

As características morfológicas são os atributos mais utilizados para determinar o padrão de qualidade das mudas em viveiros florestais e vários experimentos têm mostrado a importância dessas características no desempenho das plantas no campo (Fonseca, 2002). Segundo Gomes e Paiva (2006), as empresas florestais adotam as seguintes características para a classificação das mudas de *Eucalyptus* spp.: a) sistema radicular desenvolvido, com raiz principal reta, raízes secundárias bem distribuídas e agregadas ao substrato; b) haste rígida; c) bom aspecto fitossanitário e; d) sem deficiências minerais. Quando se trata de mudas clonais, a maioria dos viveiros trabalha, hoje, com valores de diâmetro de colo acima dos 4mm e altura da muda entre 35 e 40 cm.

Fonseca et al. (2002) afirmam que características morfológicas como a altura da muda e o diâmetro de colo não devem ser empregados isoladamente na classificação do padrão de qualidade. Contudo, Gomes et al. (2002), relatam também, a indefinição no apontamento concreto das características que avaliam a qualidade das mudas.

A maioria dos trabalhos desenvolvidos sobre o tema qualidade de mudas foi realizada, utilizando mudas produzidas por sementes. Grande parte dos viveiros de produção em larga escala utiliza, hoje, a propagação clonal para a produção de suas mudas, principalmente a técnica de miniestaquia. O presente trabalho teve como objetivo verificar a correlação de diferentes características de mudas clonais de eucalipto, na fase de expedição no viveiro e o crescimento após o plantio.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na empresa FIBRIA CELULOSE S.A., em Aracruz-ES, município, localizado a 40°11'29"W e 19°47'54"S, constando de duas etapas, a de produção de mudas, para avaliação de sua qualidade e o plantio, para avaliação do desempenho no campo.

As mudas foram originadas de três clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, produzidas a partir de miniestacas apicais, com comprimento variando entre 8 e 10 cm e aproximadamente 2 mm de diâmetro. O substrato utilizado foi uma mistura composta (v:v) por fibra de coco (30%), casca de arroz carbonizada (35%), vermiculita (35%), fertilizada com 2,0 kg.m<sup>-3</sup> de osmocote (19-06-10) e 2,0 kg.m<sup>-3</sup> de superfosfato simples.

No campo, as mudas foram plantadas em parcelas únicas de 392 plantas por clone, em espaçamento de 3 x 3 metros, recebendo uma adubação básica com 100 gramas de uma formulação NPK 06-30-06, no plantio. Em substituição à irrigação, foi utilizada uma dose de 500 mL por cova do gel pré-hidratado STORKSOB®.

Com idade de expedição entre 90 e 110 dias, as mudas foram avaliadas, individualmente, com relação a: altura, diâmetro do colo, número de deformações radiculares (apenas na periferia do torrão), número de pares de

folhas, aspecto fitossanitário, índice de clorofila, comprimento do torrão, ângulo do torrão, relação altura/diâmetro de colo e a relação copa/altura (relação entre o comprimento da copa e a altura da muda).

No quadro 1 são apresentadas as características avaliadas no momento de expedição.

Quadro 1. Descrição das características morfofisiológicas e sanitárias das mudas avaliadas no momento da expedição no viveiro.

Característica	Avaliação	Unidade	Descrição
Altura (H)	Quantitativo	cm	Medição da muda com régua milimetrada.
Diâmetro de colo (D)	Quantitativo	mm	Medição com paquímetro.
Pares de folhas	Quantitativo	número	Contagem dos pares de folhas.
Deformações radiculares (DEF)	Quantitativo	número	Contagem das deformações visíveis na periferia do torrão.
Relação altura/diâmetro de colo (H/D)	Quantitativo	número	Divisão entre a altura da muda e o diâmetro de colo.
Relação copa/altura (C/H)	Quantitativo	número	Divisão entre o comprimento da copa (ápice e o último par de folhas) e a altura da muda.
Índice de clorofila (CLO)	Quantitativo	número	Medição com uso do clorofilômetro da OPTI-SCIENCE modelo - CCM 200.
Aspecto fitossanitário (FITO)	Qualitativo	nota	Nota 1 - mudas com presença de canela preta, manchas foliares e doenças vasculares; Nota 3 - presença apenas de manchas; Nota 5 - mudas sadias.
Comprimento do torrão (CT)	Qualitativo	cm	Nota 1 - < 10; Nota 2 - entre 10 e 10,9; Nota 3 - entre 11 e 11,9; Nota 4 - entre 12 e 12,9 Nota 5 - 13.
Ângulo do torrão (AT)	Qualitativo	Nota	Nota 1 - > 10° graus; Nota 2 - entre 8 e 10° graus; Nota 3 - entre 4 e 7° graus; Nota 4 - entre 1 e 2° graus; Nota 5 - 0° grau.

Na figura 1 são ilustradas as metodologias de avaliação das características relação copa/altura, comprimento do torrão e ângulo do torrão.

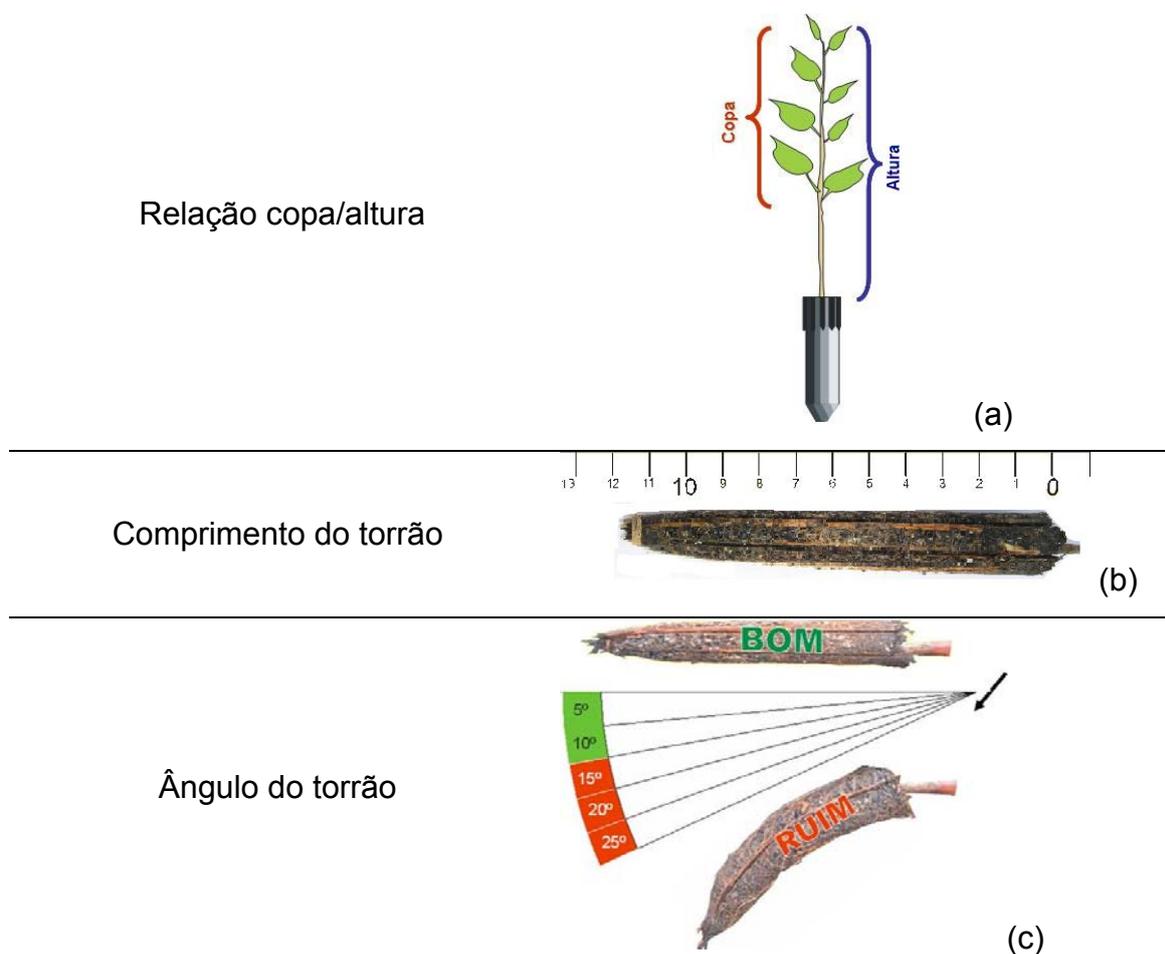


Figura 1. Metodologia de avaliação das características relação copa/altura (a), comprimento do torrão (b) e ângulo do torrão (c).

No campo as mudas foram avaliadas com relação ao crescimento em altura e diâmetro dos 3 aos 24 meses após o plantio (informar o período – intervalo- entre as medições). Sendo respeitada a identificação realizada no viveiro.

No figura 2 são apresentados os dados climatológicos da área experimental durante os 24 meses de avaliação, após o plantio.

Os dados foram analisados utilizando métodos de correlações simples entre características de viveiro e correlações parciais entre características de viveiro e o crescimento no campo, ao nível de 5% de probabilidade.

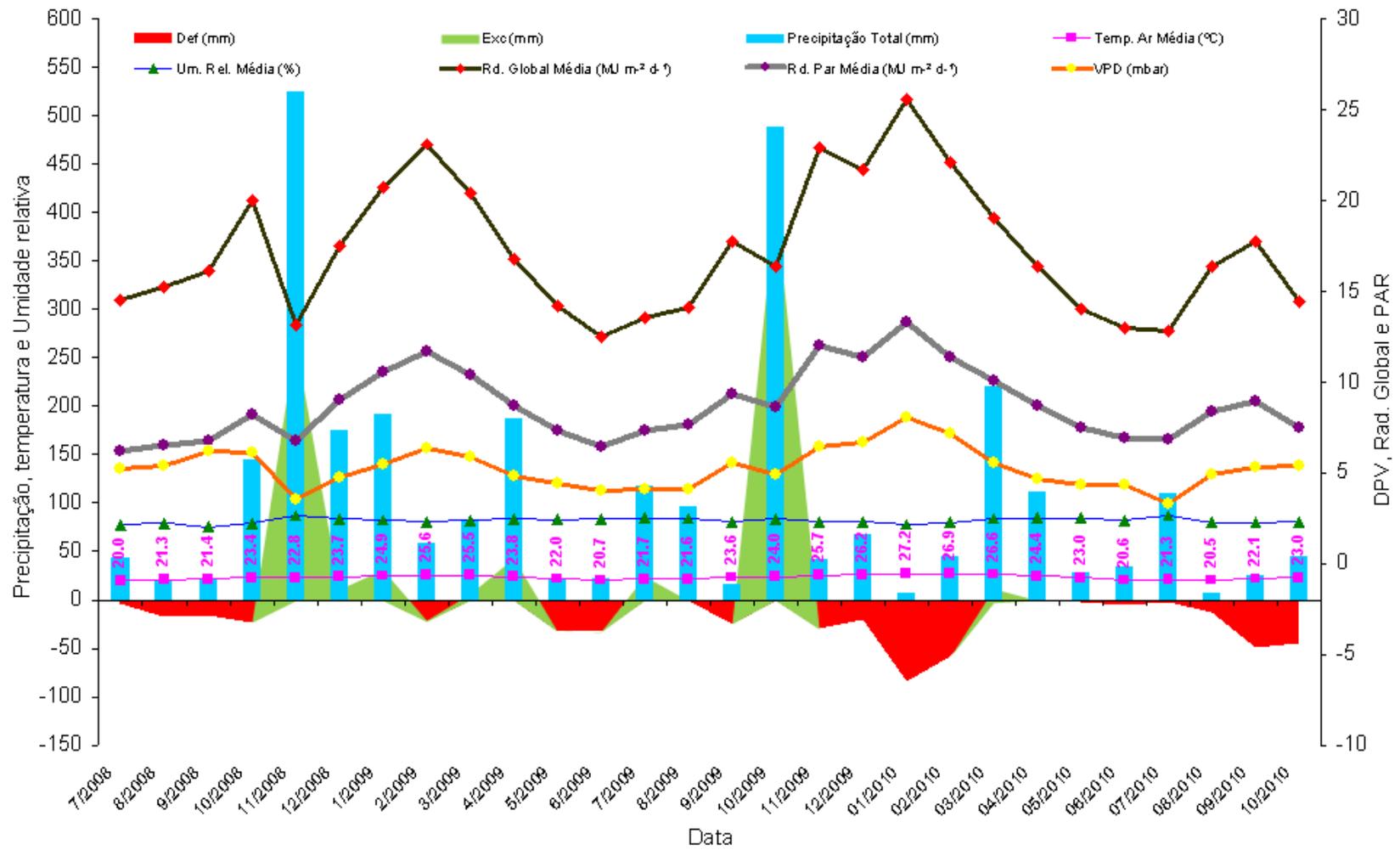


Figura 2. Dados climatológicos da área experimental durante os 24 meses de avaliação, após o plantio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2, são apresentados os dados de correlação simples entre os parâmetros morfofisiológicos de mudas clonais de eucalipto avaliadas na época de expedição.

Quadro 2. Correlação simples entre parâmetros morfofisiológicos de mudas clonais de eucalipto avaliadas na expedição do viveiro.

	H	D	PF	DEF	C/H	CLO	H/D	FITO	CT	AT
H	1	0,431*	0,339*	-0,207*	0,412*	-0,648*	0,852*	0,487*	0,410*	0,196*
D	0,431*	1	0,370*	0,045 <sup>ns</sup>	0,051*	-0,332*	-0,089*	0,049*	0,352*	0,194*
PF	0,339*	0,370*	1	-0,067*	-0,057*	-0,325*	0,145*	0,205*	0,249*	0,055*
DEF	-0,207*	0,045 <sup>ns</sup>	-0,067*	1	-0,103*	0,101*	-0,243*	-0,320*	0,035 <sup>ns</sup>	-0,0001 <sup>ns</sup>
C/H	0,412*	0,051*	-0,057*	-0,103*	1	-0,324*	0,442*	0,174*	0,068*	0,042 <sup>ns</sup>
CLO	-0,648*	-0,332*	-0,325*	0,101*	-0,324*	1	-0,531*	-0,288*	-0,296*	-0,127*
H/D	0,852*	-0,089*	0,145*	-0,243*	0,442*	-0,531*	1	0,501*	0,248*	0,112*
FITO	0,487*	0,049*	0,205*	-0,320*	0,174*	-0,288*	0,501*	1	0,190*	-0,068*
CT	0,410*	0,352*	0,249*	0,035 <sup>ns</sup>	0,068*	-0,296*	0,248*	0,190*	1	0,110*
AT	0,196*	0,194*	0,055*	-0,0001 <sup>ns</sup>	0,042 <sup>ns</sup>	-0,127*	0,112*	-0,068*	0,110*	1

H – altura, D – diâmetro de colo, PF – pares de folhas, DEF - deformação radicular, C/H – relação copa/altura, CLO – índice de clorofila, H/D – relação altura/diâmetro de colo, FITO – aspecto fitossanidade, CT – comprimento do torrão, e AT – comprimento do torrão.

\*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

Várias pesquisas têm sido realizadas buscando mostrar a importância das características morfofisiológicas das mudas com o intuito de prognosticar o desempenho após o plantio (Fonseca, 2000). É necessária uma definição mais

precisa entre as características de qualidade da muda por ocasião da expedição para o plantio, a sobrevivência e o crescimento no campo (Gomes et al., 2002).

No quadro 3 é apresentado o resultado da análise de correlação parcial entre as características de avaliação do padrão de qualidade morfofisiológica de mudas clonais de eucalipto e o crescimento no campo aos 3 e 6 meses após o plantio.

Quadro 3. Análise de correlação parcial entre as características morfofisiológicas de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla* e o crescimento, aos 3 e 6 meses após o plantio.

Características	Correlações parciais	
	3 meses	6 meses
H	0.00435*	0.00483*
D	-0.05854*	NS
PF	0.02219*	0.04379*
DEF	0.01047*	0.02588*
C/H	-0.24405*	-0.46507*
CLO	NS	NS
H/D	NS	NS
FITO	NS	NS
CT	0.03234*	NS
AT	NS	NS

H – altura, D – diâmetro de colo, PF – pares de folhas, DEF - deformação radicular, C/H – relação copa/altura, CLO – índice de clorofila, H/D – relação altura/diâmetro de colo, FITO – aspecto fitossanidade, CT – comprimento do torrão, e AT – comprimento do torrão.

\*significativo a 5% de probabilidade; <sup>NS</sup> não significativo.

A análise de correlação parcial entre as características morfofisiológicas das mudas clonais de eucalipto, avaliadas no viveiro, com o seu crescimento no campo aos 3 e 6 meses após o plantio, indicou correlações significativas positivas para a altura da parte aérea, pares de folhas, deformações radiculares e comprimento do torrão, e correlações significativas negativas para diâmetro do colo e relação copa/altura (Quadro 3).

A altura é considerada como uma das características mais antigas na classificação e seleção de mudas (Parviainen, 1981). No presente trabalho, os resultados convergem com os de diversos autores, como Borges et al. (1980), Barnett (1983), Mexal e Landis (1990), Carneiro (1995), Barroso et al. (2000), Leles et al. (2000) e Morgado et al. (2000), Freitas (2003) e Figueiredo et al

(2011), evidenciando a importância desta característica para crescimento inicial das plantas.

O número de pares de folha e comprimento do torrão apresentou, também, correlação positiva com o crescimento das plantas no campo. Inoue e Ribeiro (1988), estudando a fotossíntese e a transpiração de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, concluíram que a capacidade de um indivíduo produzir e manter uma grande área foliar influencia diferentes características fisiológicas, podendo interferir no desempenho pós-plantio. Os resultados desses autores convergem aos apresentados no quadro 3, evidenciando que a expedição de mudas com uma maior área foliar pode proporcionar um maior crescimento inicial das plantas. Constatou-se que o comprimento do torrão evidencia a importância da muda apresentar um sistema radicular bem desenvolvido e aderido ao substrato. Carneiro (1995), Gomes e Paiva (2006) e Alfenas (2009).

As deformações radiculares não prejudicaram, até os seis meses após o plantio, o crescimento das plantas (Quadro 3). Atribui-se aos valores do baixo déficit de pressão de vapor e à alta precipitação pluviométrica, que propiciaram assimilação de água, sem consequências adversas para as plantas. Contudo, Freitas et al. 2005, ressaltam a persistência das deformações radiculares após o plantio, podendo reduzir, ou atrasar, o crescimento das plantas no campo.

A correlação parcial entre os parâmetros de viveiro e o crescimento das plantas três meses após o plantio evidenciaram uma relação inversa, negativa, para o parâmetro diâmetro de colo e o crescimento das plantas no campo neste período. Este resultado é convergente com os resultados apresentados por Figueiredo et al (2011), também trabalhando com plantas clonais de eucalipto. Os autores verificaram que mudas com diâmetro de colo fino (abaixo de 2 mm) apresentaram equivalência no crescimento em altura aos três meses após o plantio quando comparadas a mudas com diâmetro médio (entre 2,1 e 3 mm) e grosso (3,1 e 4 mm). Por outro lado, os resultados são contrastantes com diferentes trabalhos (Carneiro, 1995; Barroso et al. 2000; Leles et al. 2000; Morgado et al. 2000; e Freitas, 2003), em que, mudas com maior diâmetro de colo apresentaram maior crescimento no campo. Estes mesmos trabalhos apresentam resultados que evidenciam uma correlação positiva entre diâmetro de colo e volume radicular, contudo não avaliada neste

trabalho. Levando em consideração os resultados apresentados por estes autores, acredita-se, que no presente trabalho, mudas que apresentam maior diâmetro de colo, apresentem, também, maior volume radicular. Por outro lado, em função das mudas serem produzidas em um mesmo recipiente, com parede rígida e volume reduzido (53 cm<sup>3</sup>), acredita-se que um maior volume radicular possa resultar, também, em maior ocorrência de deformações radiculares, desta forma, mudas com maiores diâmetros apresentariam um maior número de deformações radiculares. Contudo, a correlação entre diâmetro de colo e deformações radiculares, avaliada neste trabalho, apesar de positiva, não foi significativa (Quadro 2). Uma possível explicação para este resultado pode estar relacionada ao fato da metodologia de avaliação de deformações radiculares avaliar apenas o que está visível na parte externa do torrão da muda, ficando obscuro a ocorrência de deformações no interior do torrão por estar encoberto pelo substrato. Vale ressaltar que assim como no presente trabalho, o trabalho de Figueiredo et al (2011) foi realizado utilizando mudas clonais, enquanto os trabalhos realizados por Barroso et al. (2000), Leles et al. (2000), Morgado et al. (2000) e Freitas (2003) foram realizados utilizando mudas propagadas por sementes.

No quadro 4 é apresentado o resultado da análise de correlação parcial entre os parâmetros de avaliação do padrão de qualidade morfofisiológica de mudas clonais de eucalipto e o crescimento no campo aos 12 e 24 meses após o plantio.

Quadro 4. Análise de correlação parcial entre as características de qualidade morfofisiológica de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla* e o crescimento aos 12 e 24 meses após o plantio.

Características	Correlações parciais	
	12 meses	24 meses
H	0.01627*	0.02197*
D	-0.46335*	-0.45612*
PF	-0.06425*	-0.05650*
DEF	-0.10132*	-0.08487*
C/H	NS	NS
CLO	NS	NS
H/D	NS	NS
FITO	0.08868*	0.10708*
CT	NS	NS
AT	NS	NS

H – altura, D – diâmetro de colo, PF – pares de folhas, DEF - deformação radicular, C/H – relação copa/altura, CLO – índice de clorofila, H/D – relação altura/diâmetro de colo, FITO – aspecto fitossanidade, CT – comprimento do torrão, e AT – comprimento do torrão.

\*significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo.

O resultado do quadro 4 mostra que a partir dos 12 meses, não há alteração das características medidas no viveiro, correlacionadas com o crescimento em altura no campo. Verifica-se, ainda, a importância da altura de muda e da correlação inversa do diâmetro de colo com o crescimento após o plantio, também verificado para as avaliações aos 3 e 6 meses após o plantio (Quadro 3).

O aspecto fitossanitário apresentou correlação positiva com o crescimento em altura das plantas aos 12 e 24 meses após o plantio, mostrando a importância do plantio de mudas saudáveis. Ressalta-se que a ocorrência de doenças em mudas pode resultar na abscisão foliar e, conseqüentemente, redução das taxas fotossintéticas. Esta característica já foi mencionada por Carvalho (1992), Alfenas et al. (2009) e Gomes e Paiva (2006). Está relacionada à presença de manchas foliares e à queda na taxa fotossintética pela redução da área fotossinteticamente ativa, propiciando senescência e, portanto, redução da área foliar logo após o plantio.

As deformações radiculares, mostram valores diferentes dos observados aos 3 e 6 meses após o plantio (Quadro 3), em confronto com as avaliações aos 12 e 24 meses. Nesta ocasião, constatou-se correlação inversa, significativa, com o crescimento das plantas no campo. Este fato corrobora com os resultados apresentados por Mattei, 1993, Freitas et al. 2005 e Neves et al.

2005, os autores verificaram a persistência das deformações radiculares anos após o plantio, resultando na redução do crescimento no campo.

## CONCLUSÕES

As características avaliadas no viveiro que apresentaram maior correlação com o crescimento inicial das plantas no campo, verificados aos 3 e 6 meses após o plantio, foram a altura, o diâmetro de colo, o número de pares de folha, o número de deformações radiculares, a relação entre a copa da muda e sua altura e o comprimento do torrão. Aos 12 e 24 meses após o plantio as características que apresentaram maior correlação foram a altura, o diâmetro de colo, o número de pares de folhas, o número de deformações radiculares e o aspecto fitossanidade.

As deformações radiculares não interferiram no crescimento inicial das plantas em condições de alta precipitação pluviométrica, mas os efeitos se tornaram prejudiciais ao longo do tempo, acarretando em redução do crescimento das plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfenas, A. C.; Zauza, E. A. V.; Mafia, R. G.; Assis, T. F. V. (2009) **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 500p.
- Associação brasileira de produtores de florestas plantadas (2010), **Anuário estatístico da ABRAF, ano base 2009**, Brasília, 140p.
- Barnett, J. P. (1983) Relating seedling morphology of container grown southern pines to field success. Separata de: CONVENTION OF THE SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS (1983: Portland) **Proceedings of the...** New Orleans: USDA For. Serv, Southern Forest Experiments Station, p.405-407.
- Barroso, D. G., Carneiro, J. G. de A., Novaes, A. B., Leles, P. S. dos S. (2000) Efeitos do recipiente sobre o desenvolvimento pós-plantio de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla*. **Revista Árvore**, 24(3): 291-296.
- Borges, R. C. G.; Brune, A.; Gonçalves, R. C.; Silva, E. E. B. J. C. (1980) Correlações entre caracteres de crescimento em *Eucalyptus grandis* S. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, 4 (2): 146-156.
- Carneiro, J. G. de A. (1983) Variações na metodologia de produção de mudas florestais afetam os parâmetros morfofisiológicos que indicam sua qualidade. **Série Técnica. FUPPEF**. Curitiba, 12: 1-40.

- Carneiro, J. G. de A. (1995). **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 451p.
- Carvalho, C. M. (1992) Produção de mudas de espécies florestais de rápido crescimento. IN: Novaes, A. B. et al. **Reflorestamento no Brasil**. Vitória da Conquista – BA, UESB, p. 93 – 103.
- Figueiredo, F. A. M. M. A. Carneiro, J. G. A., Penchel, R. M., Barroso, D. G., Daher, R. F. (2011) Efeito das variações biométricas de mudas clonais de eucalipto sobre o crescimento no campo. **Revista Árvore**, 35(1): 1-11.
- Fonseca, E. P., Valéri, S. V., Miglioranza, E., Fonseca, N. A. N., Couto, L. (2002) Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, 26 (4): 515-523.
- Freitas, T. A. (2003) **Sistema de blocos prensados para produção de mudas de eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 94 p.
- Freitas, T. A. S., Barroso, D. G., Carneiro, J. G. de A., Penchel, R. M., Lamônica, K. R., Ferreira, D. de A. (2005) Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, 29(6): 853 – 861.
- Gomes, J. M.; Couto, L.; Leite, H. G.; Xavier, A.; Garcia, S. L. R. (2002) Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, 26 (6): 655-664.
- Gomes, J. M., Paiva, H. N. (2006) **Viveiros Florestais – propagação sexuada**. 3° ed. Viçosa: UFV, 116p.
- Inoue, M. T., Ribeiro, F. A. (1988) Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptus* sp e *E. saligna*. **IPEF**, 40: 15-20.
- Leles, P. S. dos S., Carneiro, J. G. A., Barroso, D. G., Morgado, I. F. (2000) Qualidade de mudas de *Eucalyptus* spp. produzidas em blocos prensados e em tubetes. **Revista Árvore**, 24(1): 13-20.
- Mattei, V. L. (1993) **Comparação entre semeadura direta e plantio de mudas produzidas em tubetes, na implantação de povoamentos de Pinus taeda L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 149 p.

- Mexal, J. L., Landis, T. D. (1990) Target seedling concepts: height and diameter. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERAL TECHNICAL REPORT RM-200, 1990, Roseburg. **Proceedings**. Fort. Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, p. 17-35.
- Morgado, I. F., Carneiro, J. G. de A., Leles, P. S. dos S., Barroso, D. G. (2000) Nova metodologia de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden utilizando resíduos prensados como substratos. **Revista Árvore**, 24(1): 27-33.
- Neves, C. S. V. J., Medina, C. de C., Azevedo, M. C. B. de, Higa, A. R., Simon, A. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra. **Revista Árvore**, 29(6): 897 – 905.
- Parviainen, J. V. (1981) Qualidade e avaliação da qualidade de mudas florestais. In: SEMINÁRIO DE SEMENTES E VIVEIROS FLORESTAIS, 1, 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, p. 59-90.
- Souza-Silva, A., Zanetti, R., Carvalho, G. A., Mendonça, L. A. (2006) Qualidade de mudas tratadas com extrato pirolenhoso. **Cerne**, 12(1): 19-26.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Em 2009 a área total de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil atingiu 6.310.450 ha, apresentando um crescimento de 2,5 % em relação ao total de 2008, considerado modesto tendo em vista o crescimento médio anual de 5,5 % no período de 2005 a 2008 (ABRAF 2010). De acordo com o relatório apresentado por esta associação, a redução da taxa de crescimento das áreas de florestas plantadas com eucalipto e pinus em 2009, decorreu da crise financeira internacional que afetou a economia mundial, reduzindo significativamente a demanda dos mercados compradores dos produtos das cadeias produtivas baseadas em madeira originária de florestas de eucalipto e pinus.

Segundo Souza-Silva et al. (2006), o investimento em pesquisas, em novas tecnologias, no setor florestal é de fundamental importância para a sobrevivência e sustentabilidade econômica, com o fim de evitar que o Brasil perca mercado para outros países.

A produtividade da floresta é resultado de interações complexas entre fatores do ambiente (água, luz, temperatura, entre outros), manejo (cultural e silvicultural) e a potencialidade do material genético. De acordo com Lopez

(2005), o êxito de um projeto florestal depende de muitos fatores, entre eles, da qualidade das mudas, visando ao aumento da produtividade do povoamento florestal.

A muda representa um dos menores custos na implantação dos povoamentos. Mas, por outro lado, sua qualidade é determinante na sobrevivência, no crescimento e, conseqüentemente, na produtividade das áreas plantadas.

O tema qualidade de mudas tem sido muito estudado, por diferentes grupos de pesquisa, devido aos ganhos em produtividade alcançados quando o plantio é realizado com mudas de alto padrão. Diferentes características de mudas têm sido avaliadas e correlacionadas com o crescimento após o plantio, sendo, praticamente, de consenso que nenhuma característica deve ser utilizada individualmente. O presente trabalho objetivou avaliar a qualidade de mudas clonais de eucalipto com relação ao efeito de deformações radiculares induzidas na condutividade hidráulica do sistema radicular, a qualidade fisiológica da muda em função do período de rotação no viveiro e o crescimento pós-plantio, e a correlação entre diferentes características morfológicas, fisiológicas e fitopatológicas com o crescimento após o plantio.

Verificou-se que a indução de deformações radiculares causou um decréscimo na condutividade hidráulica do sistema radicular e queda na taxa fotossintética das mudas.

O aumento no tempo de rotação das mudas no viveiro causa reduções na capacidade fotossintética das mudas, sendo a queda relacionada a efeitos estomáticos e não estomáticos. Os clones estudados apresentaram comportamento diferenciado em relação aos efeitos do período de rotação no viveiro, tendo o clone A apresentado menor susceptibilidade aos efeitos deletérios do longo período de confinamento em recipientes de 53 cm<sup>3</sup>. Independente do clone avaliado, mudas com idade de expedição de 90 dias apresentaram o maior crescimento tanto em altura, quanto em DAP, 24 meses após o plantio.

As características avaliadas no viveiro que apresentaram maior correlação com o crescimento inicial das plantas no campo, verificados aos 3 e 6 meses após o plantio, foram a altura, o diâmetro de colo, o número de pares de folha, o número de deformações radiculares, a relação entre a copa da

muda e sua altura e o comprimento do torrão. Aos 12 e 24 meses após o plantio as características que apresentaram maior correlação foram a altura, o diâmetro de colo, o número de pares de folhas, o número de deformações radiculares e o aspecto fitossanidade. As deformações radiculares não interferiram no crescimento inicial das plantas em condições de alta precipitação pluviométrica, mas os efeitos se tornaram prejudiciais ao longo do tempo, acarretando em redução do crescimento das plantas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adir, N., Zer, H., Shochat, S., Ohad, I. (2003) Photoinhibition – a historical perspective. **Photosynthesis Research**, Netherlands, 76: 343-370.
- Alfenas, A. C., Zauza, E. A. V., Mafia, R. G., Assis, T. F. V. (2009) **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 500p.
- Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Natkoul, H., Nachit, M.M. (1998) Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under mediterranean conditions. **Field Crops Research** 55: 209 -223.
- Arp, W.J. (1991) Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO<sub>2</sub>. **Plant, Cell and Environment**, Logan, 14(8): 869-875.
- Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRASELPA, (2010) Relatório estatístico 2009/2010 - Setor de celulose e papel. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/index.php>. Acesso em 21 de novembro de 2010.
- Associação brasileira de produtores de florestas plantadas (2010), **Anuário estatístico da ABRAF, ano base 2009**, Brasília, 140p.
- Atwell, B. J. (1988) Physiological responses of lupin roots to soil compaction. **Plant and Soil**, Crawley, 111: 277-281.

- Barja, P. R., Mansanares, A. M., Silva, E. C.; Alves, P. L. C. A. (2003) Photoacoustics as a tool for the diagnosis of radicular stress: Measurements in eucalyptus seedlings **Review of Scientific Instruments**. 74(1): 709-711.
- Barnett, J. P. (1983) Relating seedling morphology of container grown southern pines to field success. Separata de: CONVENTION OF THE SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS (1983: Portland) **Proceedings of the...** New Orleans: USDA For. Serv, Southern Forest Experiments Station, p.405-407.
- Barroso, D. G., Carneiro, J. G. de A., Novaes, A. B., Leles, P. S. dos S. (2000) Efeitos do recipiente sobre o desenvolvimento pós-plantio de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla*. **Revista Árvore**, 24(3): 291-296.
- Bengough, A.G., Bransby, M.F., Hans, J., McKenna, S.J., Roberts, T.J., Valentine, T.A. (2006) Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, 57(2): 437–447.
- Bolhàr-Nordenkamp, H. R., Long, S. P., Baker, N. R., Öquist, G., Schreiber, U., Lechner, E. G. (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, 3: 497-514.
- Borges, R. C. G.; Brune, A.; Gonçalves, R. C.; Silva, E. E. B. J. C. (1980) Correlações entre caracteres de crescimento em *Eucalyptus grandis* S. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, 4 (2): 146-156.
- Brodribb, T. J. (2009) Xylem hydraulic physiology: The functional backbone of terrestrial plant productivity, **Plant Science**, 177: 245–251.
- Cabral, E.L., Barbosa, D.C.A., Simabukuro, E.A. (2004) Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico, **Acta Botânica Brasileira**, 18(2): 241-251.
- Carmi, A., Hesketh, J.D., Enos, W.T., Peters, D. B. (1983) Interrelationship between shoot growth and photosynthesis as affected by root growth restriction. **Photosynthetica**, Praga, 17(2): 240 - 245.
- Carmi, A., Heuer, B. (1981) The role of roots in control of bean shoot growth. **Annals of Botany**, 48: 519-527.
- Carneiro, J. G. de A. (1983) Variações na metodologia de produção de mudas florestais afetam os parâmetros morfofisiológicos que indicam sua qualidade. **Série Técnica. FUPEF**. Curitiba, 12: 1-40.

- Carneiro, J. G. de A. (1995) **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 451p.
- Carneiro, J. G. de A., Ramos, A. (1981) Influência da altura aérea, diâmetro de colo e idade de mudas de *Pinus taeda* sobre a sobrevivência e desenvolvimento após 15 meses e aos seis anos após o plantio. In: SEMINÁRIO DE SEMENTES E VIVEIROS FLORESTAIS, 1, 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, p. 91 – 110.
- Carvalho, C. M. (1992) Produção de mudas de espécies florestais de rápido crescimento. IN: Novaes, A. B. et al. **Reflorestamento no Brasil**. Vitória da Conquista – BA, UESB, p. 93 – 103.
- Cruziat, P., Cochard, H., Améglio, T. (2002) Hydraulic architecture of trees: main concepts and results. **Annals of Forest Science**. 59: 723–752.
- Figueiredo, F. A. M. M. A. Carneiro, J. G. A., Penchel, R. M., Barroso, D. G., Daher, R. F. (2011) Efeito das variações biométricas de mudas clonais de eucalipto sobre o crescimento no campo. **Revista Árvore**, 35(1): 1-11.
- Figuerôa, J. M., Barbosa, D. C. A., Simabukuro, E. A. (2004) Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos, **Acta Botânica Brasílica**, 18(3): 573-580.
- Fonseca, E. P., Valéri, S. V., Miglioranza, E., Fonseca, N. A. N, Couto, L. (2002) Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, 26 (4): 515-523.
- Freitas, T. A. S. (2003) **Sistema de blocos prensados para produção de mudas de eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 94 p.
- Freitas, T. A. S., Barroso, D. G., Carneiro, J. G. de A., Penchel, R. M., Lamônica, K. R., Ferreira, D. de A. (2005) Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, 29(6): 853 – 861.
- Gholz, H.L., Ewel, K.C., Teskey, R.O. (1990) Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, 30: 1-18.
- Godoy, L. J. G., Santos, T. S., Villas Bôas, R. L., Leite Júnior, J. B. (2008) Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o

- ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 32: 217-226.
- Goldstein, G. A., Andrade, J. L., Meinzer, F. C., Holdbrock, N. M., Cavalier, J., Jackson, P., Celis, A. (1998) Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest trees. **Plant Cell and Environment**, Oxford, 21: 397-406.
- Gomes, J. M., Couto, L., Leite, H. G., Xavier, A., Garcia, S. L. R. (2002) Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, 26(6): 655-664.
- Gomes, J. M., Paiva, H. N. (2006) **Viveiros Florestais** – propagação sexuada. 3° ed. Viçosa: UFV, 116p.
- Goto, T., Matsuno, T., Yoshida, Y., Kageyama, Y., (2002) Photosynthetic, evapotranspiratory and leaf morphological properties of chrysanthemum grown under root restriction as affected by fertigation frequency. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**. 71: 277–283.
- Guimaraes, C. M.; Moreira, J. A. A. (2001) Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa agropecuaria brasileira**, Brasília, 36(4): 703-707 .
- Hameed, M. A., Reid, J. B., Rowe R. N. (1987) Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Annals of Botany**, Bristol, 59(6): 685-692.
- Hartung, W., Zhang, J., Davies, W. J. (1994) Does abscisic acid play a stress physiological role in maize plants growing in heavily compacted soil? **Journal Experimental Botany**. Oxford, 45(2): 221-226.
- Hendry, G. A. F.; Price, A. H. (1993) Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G. A. F. and Grime J.P. (Eds.) **Methods in comparative plant ecology**. Chapman & Hall, London, 148-152p.
- Henzler, T., Waterhouse, R. N., Smyth, A. J., Carvajal, M., Cooke, D. T., Schaffner, A. R., Steudle, E., Clarkson, D. T. (1999) Diurnal variations in hydraulic conductivity and root pressure can be correlated with the expression of putative aquaporins in the roots of *Lotus japonicus*. **Planta** 210(1): 50-60.

- Huang, B., Eissenstat, D. M. (2000) Linking hydraulic conductivity to anatomy in plants that vary in specific root length. **Journal of the American Society for Horticultural**. 125: 260-264.
- Huang, B., Nobel, P. S. (1994) Root hydraulic conductivity and its components, with emphasis on desert succulents. **Agronomy Journal**, 86: 767–774.
- Hubbard, R. M., Ryan, M. G. Stiller, V., Sperry, J. S. (2001) Stomatal conductance and photosynthesis vary linearly with plant hydraulic conductance in ponderosa pine. **Plant, Cell & Environment**. Logan, 24(1): 113–121.
- Hurley, M. B., Rowart, J. S. (1999) Resistance to root growth and changes in the concentrations of ABA within the root and xylem sap during root-restriction stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, 50(335): 799–804.
- Inoue, M. T., Ribeiro, F. A. (1988) Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptus* sp e *E. saligna*. **IPEF**, 40: 15-20.
- Ismail, M. R., Davies, W. J. (1998) Root restriction affects leaf growth and stomatal response: the role of xylem sap ABA. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 74(4): 257-268.
- Ismail, M. R., Noor, K. M. (1996) Growth, water relations and physiological process of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under root growth restriction. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, 66(1-2): 51-58.
- Itai, C., Birnbaum, H. Synthesis of growth plant regulators by roots. In: WARSEL, Y., ESHEL, A., KAFKAF, U. (eds). (1991) **Plant roots – the hidden half**. New York: Marcel Dekker, p.163-177.
- Jackson R. B., Sperry, J. S., Dawson, T. E. (2000) Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. **Trends in Plant Science**. 5: 482-488.
- Joly, R. J. (1989) Effects of Sodium Chloride on the Hydraulic Conductivity of Soybean Root Systems. **Plant Physiology**. 91: 1262-1265.
- Kramer, P., Boyer, J. (1995) **Water relations of plants and soils**. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Koslowski, T.T., Pallardy, S.G. (1996) **Physiology of woody plants**, 2.ed. San Diego, Academic Press, 411p.
- Larcher, W. (2004) **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 531 p.

- Leite, H. G., Jacovine, L. A. G., Silva, C. A. B., Paula, R. A., Pires, I. E., Silva, M. L. (2005) Determinação dos custos da qualidade em produção de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, 29(6): 955-964.
- Leles, P. S. dos S., Carneiro, J. G. A., Barroso, D. G., Morgado, I. F. (2000) Qualidade de mudas de *Eucalyptus* spp. produzidas em blocos prensados e em tubetes. **Revista Árvore**, 24(1): 13-20.
- Lynch, J. (1995) Root Architecture and Plant Productivity. **Plant Physiology**. 109: 7-13.
- Lo Gullo, M. A., Nardini, A.; Salleo, S., Tyree, M. T. (1998) Changes in root hydraulic conductance ( $K_R$ ) of *Olea oleaster* seedlings following drought stress and irrigation, **New Phytologist**. 140: 25-31.
- Lopez, E. D. (2005) **Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis* e *E. citriodora* produzidas em blocos prensados e em dois modelos de tubetes e seu desempenho no campo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Vitória da Conquista, BA. Universidade Estadual do Oeste da Bahia – UESB, 82 p.
- Mafia, R. G., Alfenas, A. C., Siqueira, L., Ferreira, E. M., Leite, H. G., Cavallazzi, J. R. P. (2005) Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, 29(6): 947-953.
- Materechera, S. A., Dexter, A. R., Altson, A. M. (1991) Penetration of very strong soils by seedlings roots of different plant species. **Plant and Soil**, Crawley, 135: 31-41.
- Mattei, V. L. (1993) **Comparação entre semeadura direta e plantio de mudas produzidas em tubetes, na implantação de povoamentos de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 149 p.
- McElrone, A. J., Pockman, W. T., Martínez-Vilalta, J., Jackson, R. B. (2004) Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth, **New Phytologist**. 163: 507–517.
- Meinzer, F. C., Grantz, D. A. (1990) Stomatal and hydraulic conductance in growing sugarcane: stomatal adjustment to water transport capacity. **Plant, Cell and Environment**. Logan. 13(4): 383–388.
- Mexal, J. L., Landis, T. D. (1990) Target seedling concepts: height and diameter. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE

- WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERAL TECHNICAL REPORT RM-200, 1990, Roseburg. **Proceedings**. Fort. Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, p. 17-35.
- Morgado, I. F., Carneiro, J. G. de A., Leles, P. S. dos S., Barroso, D. G. (2000) Nova metodologia de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden utilizando resíduos prensados como substratos. **Revista Árvore**, 24(1): 27-33.
- Navari-Izzo, F.; Rascio, N. (1999) Plant response to water-deficit conditions. **In: Pessaraki, M. ed. Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker Inc, 231–270.
- Netto, A. T., Campostrini, E., Gomes, M. M. A. (2006) Efeitos do confinamento radicular nas medidas biométricas e assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas de *Coffea canephora* Pierre, **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, 12(3): 295-303.
- Netto, A. T., Campostrini, E. (2005) Plantas de *Coffea canephora* Pierre crescidas em confinamento do sistema radicular: teores dos pigmentos fotossintéticos, emissão da fluorescência da clorofila  $\alpha$  e trocas gasosas, **Ceres**, 52(299): 125-139.
- Netto, A. T. (2001) **Ecofisiologia de plantas de *Coffea canephora* Pierre cultivadas em condições de confinamento do sistema radicular**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 89p.
- Neves, C. S. V. J., Medina, C. de C., Azevedo, M. C. B. de, Higa, A. R., Simon, A. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra. **Revista Árvore**, 29(6): 897 – 905.
- Nikolova, P. S., Blaschke, H., Matyssek, R., Pretzsch, H., Seifert, T. (2009) Combined application of computer tomography and light microscopy for analysis of conductive xylem area in coarse roots of European beech and Norway spruce. **European Journal of Forest Research**. 128:145–153.
- Novaes, A. B., Carneiro, J. G. A., Barroso, D. G., Leles, P. S. S. (2002) Comportamento de mudas de *Pinus taeda* produzidas em raiz nua e em dois tipos de recipientes, 24 meses após o plantio. **Floresta**. Curitiba, 31: 62-71.

- Nultsch, W. (2000) **Botânica geral**. 10.ed. Porto Alegre: ArtMed, p.203-211.
- Osmont, K. S.; Sibout, R.; Hardtke, C. S. (2007) Hidden Branches: Developments in Root System Architecture. **The Annual Review of Plant Biology**. California, 58: 93–113.
- Pandolfi, F. (2009) **Avaliação de parâmetros de rusticidade de mudas clonais de eucalipto e suas influências no crescimento inicial do povoamento**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Alegre, ES. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, 134 p.
- Parviainen, J. V. (1981) Qualidade e avaliação da qualidade de mudas florestais. In: SEMINÁRIO DE SEMENTES E VIVEIROS FLORESTAIS, 1, 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, p. 59-90.
- Peterson, T. A., Reinsel, M. D., Krizek, D. T. (1991) Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'Better Bush') Plant Response to Root Restriction. I. Alteration of Plant Morphology. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, 42(243): 1233-1240.
- Radin, J. W., Eidenbock, M. P. (1984) Hydraulic Conductance as a Factor Limiting Leaf Expansion of Phosphorus-Deficient Cotton Plants **Plant Physiology**. 75: 372-377.
- Raschke, K. (1987) Action of abscisic acid on guard cells. **IN: Zeiger, E., Farquhar, G. D., Cowan, I. R., eds, Stomatal Function**. Stanford University Press, Stanford, CA, 253–279p.
- Reichardt, K. (1990) **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Ed.Manole,188p.
- Reis, A. R., Junior, E. F., Buzetti, S, Andreotti, M. (2006) Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, 65(1): 163-171.
- Reis, E. R.,Lúcio, A. D. C., Fortes, F. O., Lopes, S. J., Silveira, B. D. (2008) Período de permanência de mudas de *eucalyptus grandis* em viveiro baseado em parâmetros morfológicos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, 32(5): 809-814.
- Reis, G. G., Reis, M. G. E., Rodrigues, F. L., Bernardo, A. L., Garcia, N. C. P. (1991) Efeito da poda de raízes sobre a arquitetura do sistema radicular e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora* produzidas em tubetes. **Revista Árvore**. Viçosa, 15(1): 43 – 54.

- Richards, D., Rowe, R. N. (1977) Effects of root restriction, root pruning, and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. **Annals of Botany**, Bristol, 41(4): 729-740.
- Rieger, M., Litvin, P. (1999) Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. **Journal of Experimental Botany**. 50: 201-209.
- Rieger, M., Marra, F. (1994) Responses of young peach trees to root confinement. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, 119(2): 223-228.
- Rosenqvist, E.; Kooten, O. V. (2003) Chlorophyll fluorescence: a general description and nomenclature. **IN: DeEll, J. R.; Toivonen, P. M. A. Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology**. Dordrecht. Kluwer academic publishers 259p.
- Rossiello, R. O. P., Araújo, A. P., Manzatto, C. V., Fernandes, M. S. (1995) Comparação dos métodos fotoelétrico e da interseção na determinação da área, comprimento e raio médio radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 30(5): 633-638
- Ruff, M. S., Krizek, D. T., Mirecki, R. M., Inoye, D. W. (1987) Restricted Root Zone Volume: Influence on Growth and Development of Tomato. **American Society for Horticultural Science**. Stanford, 112(5): 763-769.
- Saliendra, N. Z., Sperry, J. S., Comstock, J.P. (1995) Influence of leaf water status on stomatal response to humidity, hydraulic conductance, and soil drought in *Betula occidentalis*. **Planta**. Bonn, 196: 357–366.
- Schaffer, B. C., Searle, C., Whiley, A. W., Nissen, R. J. (1996) Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment and root restriction on leaf gas exchange and growth of banana (*Musa*). **Physiologia Plantarum**, 97: 685-693.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A. (1965) Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. **Science**, 148: 339-346.
- Shi, K., Hu, W. H., Dong, D. K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., (2007) Low O<sub>2</sub> supply is involved in the poor growth in root-restricted plants of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Environmental and Experimental Botany**. 61: 181-189.

- Shi, K., Ding, X. T., Dong, D. K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. (2008) Root restriction-induced limitation to photosynthesis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) leaves. **Scientia Horticulturae**. 117: 197-202.
- Shimizu, M., Ishida, A., Hogetsu, T. (2005) Root hydraulic conductivity and whole-plant water balance in tropical saplings following a shade-to-sun transfer **Oecologia**, 143: 189-197.
- Solari, L. I., Pernice, F., DeJong, T. M. (2006) The relationship of hydraulic conductance to root system characteristics of peach (*Prunus persica*) rootstocks. **Physiologia Plantarum** 128: 324-333.
- Souza-Silva, A., Zanetti, R., Carvalho, G. A., Mendonça, L. A. (2006) Qualidade de mudas tratadas com extrato pirolenhoso. **Cerne**, 12(1): 19-26.
- Stape, J. L., Gonçalves, J. L. de M., Gonçalves, A. N. (2001) Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil. **New Forests**, Netherlands, 22: 19-41.
- Sperry, J. S., Pockman, W. T. (1993) Limitation of transpiration by hydraulic conductance and xylem cavitation in *Betula occidentalis*. **Plant, Cell and Environment**. 16: 279–287.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2004) **Fisiologia vegetal**, 3º ed.: Artmed, Porto Alegre, 719p.
- Tatagiba, S. D. (2006) **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Alegre-ES, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 110p.
- Ternesí, M., Andrade, A. P., Jorriñ, J., Benlloch, M. (1994) Root–shoot signalling in sunflower plants with confined root systems. **Plant and Soil**. Crawley, 166: 31–36.
- Teskey, R. O., Hinckley, T. M., Grier, C. C. (1983) Effect of interruption of flow path on stomatal conductance of *Abies amabilis*. **Journal of experimental botany**. Oxford, 34:1251 – 1259.
- Thomas, R.B., Strain, B.R., (1991) Root restriction as a factor in photosynthetic acclimation of cotton seedlings grown in elevated carbon dioxide. **Plant Physiology**. 96: 627–634.
- Toledo, R. E. B., Victória Filho, R., Pitelli, R. A., Alves, P. L. C. A., Lopes, M. A. F. (2000) Efeito de períodos de controle de plantas daninhas sobre o

desenvolvimento inicial de plantas de eucalipto. **Planta Daninha**. 18(3): 395-404.

Tschaplinski, T.J., Blake, T.J. (1985) Effects of root restriction on growth correlations, water relations and senescence of alder seedlings.

**Physiologia Plantarum**, Lund, 64(2): 167-176.

Tyree, M. T. (2003) Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees. **Trees**, 17: 95-100.

Tyree, M. T., Ewers F. W. (1991) Tansley Review 34. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. **New Phytologist**. 119: 345-360.

Tyree, M. T., Zimmermann, M.H., (2002) **Xylem Structure and the Ascent of Sap**. Springer Verlag, Berlin.

Will, R. E., Teskey, R. O., (1997) Effect of elevated carbon dioxide concentration and root restriction on net photosynthesis, water relations and foliar carbohydrate status of loblolly pine seedlings. **Tree Physiology**. 17: 655-661.

Yang, G. P., Rhodes, D., Joly, R. J. (1996) Effects of high temperature on membrane stability and chlorophyll fluorescence in glycinebetaine-deficient and glicinibetaine-containing maize lines. **Australian Journal of Plant Physiology**. 23(4): 437-443.

Zhu, L., Wang, S., Yang, T., Zhang, C., Xu, W. (2006) Vine growth and nitrogen metabolism of 'Fujiminori' grapevines in response to root restriction, **Scientia Horticulturae**, 107: 143-149.