

FISIOLOGIA DA PROPAGAÇÃO E NUTRIÇÃO MINERAL
ASSOCIADA AO CÁLCIO E BORO EM PLANTAS DE *TOONA*
CILIATA E *CEDRELA FISSILIS*

TAIANE PIRES DE FREITAS DE OLIVEIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2016

FISIOLOGIA DA PROPAGAÇÃO E NUTRIÇÃO MINERAL
ASSOCIADA AO CÁLCIO E BORO EM PLANTAS DE *TOONA*
CILIATA E *CEDRELA FISSILIS*

TAIANE PIRES DE FREITAS DE OLIVEIRA

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 Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof^a. Deborah Guerra Barroso

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

115/2016

Oliveira, Taiane Pires de Freitas de

Fisiologia da propagação e nutrição mineral associada ao cálcio e boro em plantas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis* / Taiane Pires de Freitas de Oliveira. – Campos dos Goytacazes, 2016.

xiii, 161 f. : il.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Fitotecnia. Campos dos Goytacazes, 2016.

Orientador: Deborah Guerra Barroso.

Área de concentração: Produção vegetal.

Bibliografia: f. 131-152.

1. MINIJARDIM CLONAL 2. FISIOLÓGIA VEGETAL 3. NUTRIÇÃO MINERAL 4. ESPÉCIES FLORESTAIS 5. QUALIDADE DE MUDAS I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Fitotecnia II. Título

CDD 581.13

FISIOLOGIA DA PROPAGAÇÃO E NUTRIÇÃO MINERAL
ASSOCIADA AO CÁLCIO E BORO EM PLANTAS DE *TOONA*
CILIATA E *CEDRELA FISSILIS*

TAIANE PIRES DE FREITAS DE OLIVEIRA

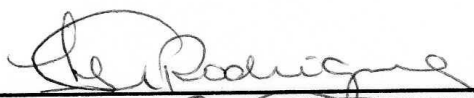
Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal.

Aprovada em 29 de Março de 2016

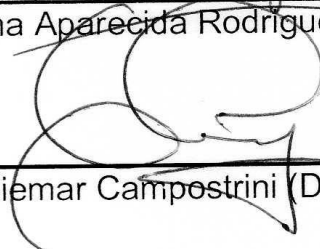
Comissão Examinadora



Prof. Ernany Santos Costa (D.Sc., Produção Vegetal) – IFF



Prof^a. Luciana Aparecida Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



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



Prof^a. Deborah Guerra Barroso (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF
(Orientador)

DEDICO

A Deus, meu salvador;
À minha família;
Ao meu esposo Fabiano;
Aos amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Senhor e Salvador de minha vida, por ter me sustentado até aqui, pelo seu amor incondicional, por ter permitido a realização de mais essa vitória e pelas suas infinitas misericórdias. Obrigada Jesus!

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de fitotecnia, pela oportunidade de realização deste curso;

Aos meus pais, Walter e Maria Milza, pelo amor e cuidado transmitidos durante o tempo; meu irmão Paulo Roberto, pela amizade e momentos descontraídos que vivemos juntos desde a infância. Amo vocês!

Ao meu amado esposo, Fabiano, por ser meu companheiro, amigo, conselheiro e o sacerdote do nosso lar;

À minha amiga Bianca, pela nossa amizade verdadeira, pelo companheirismo, pelas orações, enfim, por fazer parte de minha vida. A considerando como minha irmã. Agradeço a Deus por ter colocado você em meu caminho!

À minha amiga Thaís, por estar presente comigo durante toda a execução desse trabalho, pelas demonstrações de carinho e cuidado, e pelos agradáveis almoços aos domingos com sua mãe Dona Dilce, por quem tenho um enorme carinho;

À minha amiga Jaqueline, pelas orações e palavras vindas de Jesus nos momentos difíceis;

À minha amiga Kelly, pela amizade, pelos momentos agradáveis e pelas contribuições nas avaliações dos experimentos;

A FAPERJ, pela concessão da bolsa de estudo;

À orientadora Deborah, pela orientação, pelos conhecimentos transmitidos ao longo desses quatro anos, por sempre se mostrar disponível para esclarecer as dúvidas e pela agradável companhia;

Aos professores, Eliemar, Luciana e Fábio Afonso, pela coorientação, sugestões e conhecimentos transmitidos;

Aos bolsistas de iniciação científica: Bruna, Giovanna, Marcos e Rommel, pela ajuda nas atividades e momentos de descontração;

Aos estagiários do colégio agrícola: Leandro, Rita, Tayná e Uédson;

Aos funcionários de campo da UAP;

Ao técnico Guilherme, por ter sido sempre prestativo e pela disposição em nos ajudar sempre que necessário;

A todos que contribuíram de alguma forma para que esse trabalho pudesse ser concluído.

Muito obrigada!!

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1- GERAL.....	4
2.2- ESPECÍFICOS.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1- Cedro australiano (<i>Toona ciliata</i> var. <i>australis</i>).....	5
3.2- Cedro rosa (<i>Cedrela fissilis</i> Vellozo).....	7
3.3- Propagação vegetativa por miniestaquia.....	8
3.4- Aspectos fisiológicos do crescimento das plantas.....	12
3.5- Cálcio e Boro.....	14
4. TRABALHOS	18
4.1. EXIGÊNCIA NUTRICIONAL E PRODUÇÃO DE MINIESTACAS DE TRÊS CLONES DE <i>TOONA CILIATA</i> VAR. <i>AUSTRALIS</i>	18
RESUMO	18
ABSTRACT	18
INTRODUÇÃO.....	19
MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
CONCLUSÕES.....	31

AGRADECIMENTO	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
4.2. PRODUÇÃO DE MUDAS POR MINIESTAQUIA DE TRÊS CLONES DE <i>TOONA CILIATA</i> VAR. AUSTRALIS.....	34
RESUMO	34
ABSTRACT	35
INTRODUÇÃO.....	35
MATERIAIS E MÉTODOS	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
4.3. TROCAS GASOSAS, CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DAS RAÍZES E CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIIS E SEMINÍFERAS DE <i>TOONA CILIATA</i> VAR. AUSTRALIS.....	49
RESUMO:	49
ABSTRACT:.....	50
INTRODUÇÃO.....	51
MATERIAIS E MÉTODOS	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
CONCLUSÃO	67
AGRADECIMENTOS.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
4.4. SATURAÇÃO POR BASES NO CRESCIMENTO, CONTEÚDO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES EM MUDAS DE <i>TOONA</i> <i>CILIATA</i> E <i>CEDRELA FISSILIS</i>	72
RESUMO	72
ABSTRACT.....	73
INTRODUÇÃO.....	73
MATERIAIS E MÉTODOS	75
RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

4.5. CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES EM MUDAS DE TOONA CILIATA E CEDRELA FISSILIS CULTIVADAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE BORO	104
RESUMO	104
ABSTRACT	105
INTRODUÇÃO	105
MATERIAIS E MÉTODOS	107
RESULTADOS E DISCUSSÃO	112
CONCLUSÃO	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
5. RESUMO E CONCLUSÕES	128
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
7. APÊNDICE	153

RESUMO

OLIVEIRA, Taiane Pires de Freitas, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2016. Fisiologia da propagação e nutrição mineral associada ao cálcio e boro em plantas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*. Orientador: Prof^a. Deborah Guerra Barroso.

Considerando a importância da cultura do cedro australiano e do cedro rosa no setor florestal brasileiro por apresentarem madeira de qualidade com alto valor econômico, este trabalho teve como objetivos produzir mudas clonais em minijardim implantado a partir de matrizes adultas de diferentes materiais genéticos, avaliar as respostas fisiológicas de mudas clonais e seminíferas de cedro australiano, bem como as respostas nos cedros australiano e rosa à adubação de plantio com cálcio e boro. Para isso foram realizados cinco experimentos. No primeiro experimento, foi comparada a produtividade do minijardim e o consumo total de nutrientes para a produção de mudas em minijardim de três clones de *Toona ciliata* var. *australis*, por 432 dias. Neste trabalho observou-se que o clone TC3 se mostrou mais produtivo ao final de 18 coletas de brotações havendo maior eficiência na conversão dos nutrientes absorvidos para produção de brotações e de miniestacas. A partir da 9^a coleta de miniestacas é indicada a reposição de nutrientes visando manter a produtividade do minijardim sempre constante. O potássio, o nitrogênio e o cálcio foram os

nutrientes mais exportados pela coleta das brotações dos três clones de cedro australiano. No segundo experimento, foi avaliado a diferença de enraizamento e o crescimento das mudas de cedro australiano produzidas por miniestaquia em função de oito coletas de brotações, aos 240, 261, 282, 312, 342, 372, 402, 432 dias após a formação do minijardim. Observou-se que as mudas do clone TC9 apresentaram menor percentual de enraizamento e qualidade do sistema radicular. As mudas produzidas do clone TC15 mostraram-se mais desenvolvidas e de melhor qualidade. A partir de 342 dias de exploração do minijardim (15ª coleta) houve redução na qualidade das mudas dos três clones. No terceiro experimento foram avaliados as trocas gasosas, a condutividade hidráulica das raízes e o crescimento de mudas clonais e seminíferas de cedro australiano, aos 120 dias de cultivo. A condutividade hidráulica das raízes não diferiu entre os materiais genéticos. Quando comparados com as mudas propagadas por sementes, os três clones apresentaram maior controle da perda de água através das folhas. O clone TC15 apresentou um sistema radicular mais desenvolvido do que as mudas propagadas por sementes. Por outro lado, o crescimento do sistema radicular foi semelhante entre os clones TC3 e TC9. O clone TC9 resultou em mudas com maior controle estomático e conseqüentemente maior eficiência intrínseca do uso da água. No quarto experimento foi verificado o efeito da adubação com cálcio sobre crescimento inicial, conteúdo e eficiência de utilização dos nutrientes em mudas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*. Os níveis de cálcio não afetaram a sobrevivência, a altura, o diâmetro e a área foliar das mudas. A partir de 0,57 g L⁻¹ de cálcio houve aumento da massa seca das raízes e a partir de 0,88 g L⁻¹, redução da massa seca da parte aérea para *Cedrela fissilis*. A ordem decrescente dos nutrientes acumulados nas folhas de *T. ciliata* foi: N>K>Ca>P>Mg>S>Fe>B>Mn>Zn>Cu. No *C. fissilis*, apenas a ordem do S>P>Mg mostrou-se diferente. A utilização de 1,52 g L⁻¹ de cálcio, com saturação por base de 85% incrementou a eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, magnésio, zinco e manganês nas duas espécies. No quinto experimento foi verificado o efeito da aplicação de boro sobre o crescimento, o conteúdo nutricional e a eficiência de utilização dos nutrientes em mudas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*. Não foi observado sintoma de deficiência visual nas mudas de cedro australiano e cedro rosa até 120 dias de cultivo. A aplicação de 10 mg dm³ de boro, que resultou na concentração de 2,64 mg kg⁻¹ desse nutriente no substrato

não é recomendada para o crescimento de mudas de cedro australiano, em virtude do aparecimento de sintomas de toxidez, causando baixo percentual de sobrevivência das mudas. O cedro rosa apresentou maior crescimento, conteúdo foliar e eficiência de utilização dos nutrientes em relação ao cedro australiano. Os cedros australiano e rosa foram mais eficientes na utilização do boro no tratamento controle.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Taiane Pires de Freitas, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2016. Physiology of propagation and mineral nutrition associated to calcium and boron in *Toona ciliata* plant and *Cedrela fissilis*. Advisor: Prof^a. Deborah Guerra Barroso.

Considering the importance of the Australian cedar culture and pink cedar in the forest sector by presenting quality wood with high economic value, this study aimed to produce minicuttings in minigarden deployed from adult arrays of different genetic materials, evaluate the answers physiological three clones and seedlings of australian cedar and answers in australian cedar and cedar rose to fertilization at planting with calcium and boron. To it were conducted five experiments. In the first experiment, we compared the productivity of minigarden and total nutrient intake for the production of cuttings in minigarden three clones of *Toona ciliata* var. *australis* of 432 days. In this work it was observed that TC3 The clone was more productive after 18 shoots collections with greater efficiency in the conversion of absorbed nutrients for the production of shoots and minicuttings. From the 9th collection of cuttings is indicated the replacement of nutrients to maintain the productivity of always constant minigarden. Potassium, nitrogen and calcium were the most exported nutrients for collecting the shoots of the three australian cedar clones. In the second experiment, we evaluated the rooting difference and the growth of australian cedar cuttings produced by minicutting

according eight collections of shoots, to 240, 261, 282, 312, 342, 372, 402, 432 days after the formation of minigarden. It was observed that The TC9 clone showed lower percentage of rooting and quality of the root system. Cuttings produced the TC15 clone were more developed and better. From 342 days of exploration minigarden (15th collection) there was a reduction in the quality of cuttings of the three clones. In the third experiment were evaluated gas exchange, hydraulic conductivity of the roots and growth of three clones and seedlings Australian cedar, 120 days of cultivation. The hydraulic conductivity of the roots did not differ between the genetic material. When compared to the seedlings, the three clones showed greater control of water loss through the leaves. The TC15 clone presented a root system more developed than the seedlings. On the other hand, the growth of the root system was similar between TC3 and TC9 clones. The TC9 clone resulted in plants with higher stomatal control and consequently greater intrinsic efficiency of water use. In the fourth experiment was conducted on the effect of calcium fertilization on the initial growth, content and efficiency of utilization of nutrients in cuttings of *Toona ciliata* and seedlings *Cedrela fissilis*. Calcium levels did not affect survival, height, diameter and leaf area. From 0.57 g L⁻¹ of calcium was increased dry mass of roots and from 0.88 g L⁻¹, reduced dry matter of shoot for *C. fissilis*. The decreasing order of nutrient accumulation in leaves of *T. ciliata* was: N>K>Ca>P>Mg>S>Fe>B>Mn>Zn>Cu. In *C. fissilis*, only the order of S>P>Mg proved different. Using 1.52 g L⁻¹ of calcium with base saturation of 85% increased the nitrogen use efficiency, phosphorus, magnesium, zinc and manganese in the two species. In the fifth experiment was conducted on the effect of the application of boron on growth, nutritional content and the efficiency of utilization of nutrients in *Toona ciliata* and *Cedrela fissilis*. There was no symptom of visual impairment in the Australian cedar and pink cedar up to 120 days of cultivation. The application of 10 mg dm⁻³ boron, which resulted in the concentration of 2.64 mg kg⁻¹ in that nutrient substrate is not suitable for the growth of cuttings Australian cedar, due to the onset of signs of toxicity, causing low percentage of survival. *C. fissilis* showed higher growth, leaf content and efficiency of nutrient use against the *T. ciliata*. The two species were more efficient in the use of boron in the control treatment.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior país com área de floresta natural em todo o mundo sendo superado apenas pela Rússia. Estes, juntamente com o Canadá, Estados Unidos e China somam mais de 50% do total, que representa pouco mais de 4 bilhões de hectares (Remade, 2011). No intuito de reduzir as pressões sobre os remanescentes de florestas nativas, a cada ano a área com florestas plantadas vem aumentando no Brasil. Em 2012, a área brasileira com florestas plantadas foi de 7,1 milhões de hectares, sendo 71% com *Eucalyptus*, 22% com *Pinus*, e 7% com outras espécies como a acácia, seringueira, paricá e teca (Abaf, 2013). Os avanços obtidos nas pesquisas com espécies do gênero *Eucalyptus* com plantios de mudas geneticamente melhoradas contribuíram para que elas se tornassem as mais exploradas em larga escala nos diversos países.

Devido ao aumento da população no planeta nos últimos anos, tem-se aumentado a demanda em diversos produtos, inclusive os de origem madeireira, como papel, madeira serrada, carvão e lenha, impulsionando este setor para o desenvolvimento de tecnologias que atendam às necessidades do mercado. Ainda segundo a Abaf (2013), no ano de 2012, foram consumidos em torno de 1,1 bilhão de m³ de madeira provinda de plantios florestais em todo o mundo, sendo que 31% desse volume foram utilizados para fins energéticos e 69% para fins industriais, prevalecendo a exploração de espécies do gênero *Eucalyptus*.

Dessa forma, são necessárias pesquisas com outras espécies que apresentem alta produtividade, qualidade da madeira e retorno econômico rápido

para atender as exigências do mercado. O cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*) e o cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vellozo), ambos pertencentes à família Meliaceae estão inseridos entre as espécies que vêm ganhando espaço no setor florestal brasileiro e que apresentam alto valor econômico.

O cedro australiano é uma espécie exótica semelhante aos cedros nativos, como o cedro rosa (Carvalho, 2003). Entretanto, difere por ser resistente ao ataque da *Hypsipyla grandella*, larva que ataca o broto terminal desde as mudas em viveiro até os plantios em campo, resultando em deformação ou ramificação da árvore.

Apesar da importância das duas espécies para o setor, há relatos de plantios comerciais apenas com o cedro australiano, além de apresentar o maior número de pesquisas realizadas nas diversas áreas. Já para o cedro rosa, a exploração tem sido realizada de forma extrativista. No entanto, devido às exigências da legislação florestal, nº 12.651 de 25 de maio de 2012 quanto à recuperação de áreas degradadas e recomposição de florestas, o cedro rosa tem sido muito utilizado para tal finalidade.

Muitas vezes, um entrave na utilização de espécies com potencial produtivo é justamente a escassez de informações silviculturais e de estudos genéticos para selecionar genótipos com alta produtividade e resistentes a pragas e doenças. Uma vez obtidos esses genótipos, estudos utilizando a propagação vegetativa para produção das mudas são de suma importância, em especial a partir de indivíduos adultos selecionados, pois essa técnica, além de permitir a manutenção das características de interesse, permite a uniformidade do plantio, facilitando o manejo, a condução e o processamento final da madeira.

As pesquisas voltadas para a produção de mudas de cedro rosa ainda são incipientes. Já para o cedro australiano algumas pesquisas utilizando a propagação vegetativa por miniestaquia já têm sido desenvolvidas na UENF (Souza et al., 2009a; Moraes et al., 2014; Ferreira et al., 2012; Silva et al., 2012; Souza et al., 2014), mostrando-se viável o emprego desta técnica. Em todos esses estudos, o material vegetal propagado foi proveniente de minijardim formado a partir de mudas por sementes, ou seja, em estágio juvenil.

Lamônica (2013) utilizou brotações após o corte raso para clonagem de materiais adultos de cedro australiano (clones TC3, TC9 e TC15) com alta produtividade e divergência genética, sendo estabelecido jardim clonal para

avaliação de produtividade e qualidade das mudas.

Conhecer a demanda nutricional durante todo o processo de produção de mudas e o período produtivo das minicepas em minijardim clonal é fundamental para direcionar o manejo da adubação, mantendo o vigor das matrizes por mais tempo e também a qualidade das mudas produzidas.

A oferta de mudas de qualidade é essencial para obter ganhos na sobrevivência, no crescimento e no desenvolvimento em campo (Carneiro, 1995). Para isso, faz-se necessário também, conhecer as características e respostas das espécies às técnicas de propagação, seus aspectos fisiológicos, morfológicos e exigência nutricional.

A fotossíntese, condutância estomática e transpiração das folhas são influenciadas pela alteração do fluxo normal de água pelo *continuum* hidráulico no percurso solo-planta-atmosfera, regulados pela condutividade hidráulica de cada parte envolvida no sistema (Hubbard et al., 1999; Tyree e Ewers 1991). Portanto, caso a absorção de água pelas raízes e o transporte por toda a planta sejam comprometidos, haverá efeitos negativos sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

Para muitas espécies florestais são escassas as informações sobre as exigências nutricionais. Como cada espécie tem suas peculiaridades, as informações não devem ser generalizadas. O cálcio e o boro, por exemplo, por serem elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas devem ser oferecidos durante todo o período de cultivo, e em quantidades ideais em cada fase. O cálcio tem função estrutural, sendo integrante da parede celular e sua deficiência afeta, principalmente, o crescimento das raízes. O boro, por sua vez atua na regulação de hormônios de crescimento (ácido indolacético), na síntese de ácidos nucleicos e, conseqüentemente, de proteínas, atua na migração de carboidratos das folhas para os tecidos armazenadores como grãos, raízes e caules (Malavolta, 2006), dentre outros. Em condições de deficiência de boro, tanto as novas brotações como o crescimento de novas raízes são paralisados.

2. OBJETIVOS

2.1- GERAL

Produzir mudas clonais em minijardim implantado a partir de matrizes adultas de diferentes materiais genéticos, avaliar as respostas fisiológicas de mudas clonais e seminíferas de cedro australiano, bem como as respostas quanto à adubação de plantio com cálcio e boro em cedro australiano e cedro rosa.

2.2- ESPECÍFICOS

- Avaliar e comparar a produção de miniestacas e o consumo de nutrientes pelas minicepas de três clones de cedro australiano;
- Avaliar a diferença de enraizamento e o crescimento das mudas de cedro australiano produzidas por miniestaquia em função das coletas de brotações;
- Avaliar as trocas gasosas, a condutividade hidráulica das raízes, a eficiência do uso da água e o crescimento de mudas clonais e seminíferas de cedro australiano;
- Verificar o efeito da aplicação de cálcio e boro no crescimento inicial e nas características nutricionais de mudas clonais de cedro australiano e seminífera de cedro rosa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1- Cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*)

O cedro australiano é uma espécie exótica, pertencente à família Meliaceae. Sua origem se estende desde a Índia e Malásia até o norte da Austrália. É semelhante aos cedros nativos brasileiros do gênero *Cedrella* da Mata Atlântica e o mogno (*Swietenia macrophilla* King) da Floresta Amazônica (Carvalho, 2003).

Conforme Pinheiro *et al.* (2006), o cedro australiano é considerado semiesciófilo, apto a suportar leve sombreamento na fase juvenil. Por isso, possui abundante regeneração natural, mesmo onde foi introduzido. Atualmente, é considerado uma espécie pantropical, ou seja, que pode ser cultivado em todos os trópicos.

A árvore pode atingir, em 12 anos, um diâmetro de 40 cm e 20 metros de fuste. Em plantios comerciais no Brasil, estima-se um Incremento Médio Anual (IMA) de 20 a 30 m³ha⁻¹ano. Seu ciclo de produção é em torno de 15 anos, podendo variar em função das características do povoamento ou da necessidade do produtor. Quanto às exigências de solo, a espécie não suporta solos arenosos pobres, nem argilosos compactados e encharcados, sendo necessária uma adubação de plantio e duas a três adubações de cobertura (Murakami, 2008).

No Brasil, o cedro australiano encontrou condições adequadas para o desenvolvimento adaptando-se muito bem, principalmente, na região Sudeste.

Outra característica da espécie é a resistência ao ataque de *Hypsipyla grandella* (broca do broto terminal), mesmo em plantios puros, em contraste com os cedros nativos *Cedrella odorata* e *Cedrella fissilis* (Murakami, 2008).

Por apresentar essa característica, o cedro australiano tem sido recomendado no plantio consorciado com outras espécies. Segundo relatos de Costa *et al.* (2000), o consórcio com cedro australiano reduziu em 87% o ataque da broca sobre o mogno brasileiro. Entretanto, os autores sugerem que essa técnica deve ser combinada com outras medidas para se obter alta eficiência.

O cedro australiano cresce bem em áreas com precipitação anual entre 800 e 1800 mm, com período de dois a seis meses de estiagem, mas também se desenvolve em região com 4000 mm de precipitação anual (Sementes Caiçara, 2013). No período de estiagem, as folhas das plantas apresentam-se amareladas ou entram em senescência, retornando à brotação com as primeiras chuvas (Vilela, 2010).

Sua madeira apresenta coloração avermelhada brilhante, resistência a cupins, com durabilidade mediana, cujo peso específico varia de 0,46 a 0,64 g cm⁻³ (Murakami, 2008), com qualidade para serraria e indústria moveleira. Apresenta teor de holocelulose de 64,13%, lignina em torno de 20,31%, extrativos 14,87% e teor de cinzas de 0,89% (Ziech, 2008).

Essas características químicas variam entre as espécies e sua determinação é de grande importância, devendo estar associado ao melhor uso a qual se pretende destinar a madeira (Quirino *et al.*, 2005). Por exemplo, o alto teor de cinzas não é adequado quando se pretende utilizar a madeira como carvão. Segundo Mori *et al.* (2003), são comumente encontrados baixos valores para o teor de cinzas na madeira de eucalipto (0,07 a 1%).

Pode ser utilizada para fabricação de compensados, aglomerado, móveis, esculturas, entalhes em portas e janelas, na construção naval e aeronáutica, fabricação de lápis e instrumentos musicais. As principais pragas registradas para essa cultura são formigas cortadeiras (*Atta sexdens rubropilosa* e *Atta laevigata*), enquanto as doenças podem estar associadas de modo vulnerável aos fungos *Ganoderma lucidum*, *Phellious* sp. e *Trametes straminea* (Pinheiro *et al.* 2006). São relatados pelo Centro de Inteligência em Florestas (2010) danos causados pela erva de passarinho (*Struthanthus flexicaulis*).

Na Argentina, essa espécie florestal também é cultivada e de grande

importância econômica para a produção de madeira (Mroginski, *et al.* 2003).

O cedro australiano tem despertado o interesse de produtores devido ao seu rápido crescimento, potencial produtivo e alto valor comercial. É uma espécie economicamente viável e confere um investimento rentável ao produtor (Pinheiro *et al.*, 2006). De acordo com a Bela Vista Florestal (2015), o metro cúbico da madeira serrada do cedro com oito anos de idade vem sendo comercializado por R\$ 1.500,00.

3.2- Cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vellozo)

O cedro rosa (*Cedrela fissilis*) pertence à família Meliaceae, e sua área de distribuição natural se estende desde o Sul do Brasil até a Costa Rica, na América Central. Em ocorrência natural, apresenta de 10 a 25 m de altura e 40 a 80 cm de DAP (Carvalho, 2003) e tem preferência por solos úmidos, como os encontrados nos vales e nas planícies aluviais (Reitz, 1984).

Apesar do alto valor econômico, não há relatos de plantios comerciais. Sua exploração têm sido de forma extrativista, o que, provavelmente, tenha sido a causa de estar inserida na lista nacional oficial de espécies da flora ameaçadas de extinção na categoria vulnerável, de acordo com a portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014. Entretanto, devido às exigências da legislação florestal, nº 12.651 de 25 de maio de 2012, quanto à recuperação de áreas degradadas e recomposição de florestas, esta espécie tem sido muito utilizada para tal finalidade.

Para Caldas (2006), o cedro rosa está entre as espécies prioritárias para a implantação de pomares de sementes, tanto para produção de sementes para restauração ambiental, como exploração econômica, já que esta ocorre em três importantes biomas do Brasil: Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. No estado de São Paulo a utilização do cedro rosa em projetos de restauração florestal corresponde a 53%, sendo a oitava espécie mais plantada, segundo Barbosa *et al.* (2003).

Por outro lado, de acordo com Carvalho (2003), na região de Cascavel-PR, o plantio comercial desta espécie é inviável devido ao incremento médio anual em volume de $3,25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, obtido aos dez anos.

Para as espécies nativas, inclusive para a espécie em questão, o sistema de produção de mudas é feito por via seminífera. Entretanto, a propagação vegetativa por miniestaquia foi estudada por Xavier et al (2003), demonstrando ser tecnicamente viável, tornando-se uma alternativa para produção de mudas dessa espécie durante todo o ano, principalmente nas situações em que a semente é insumo limitante.

Na literatura, as pesquisas voltadas para a produção de mudas de cedro rosa ainda são incipientes, o que torna necessário o desenvolvimento de estudos relacionados com as técnicas de propagação e manejo pós-plantio, para a obtenção de mudas de qualidade que atendam a demanda e as exigências do setor florestal.

3.3- Propagação vegetativa por miniestaquia

Em espécies arbóreas, a propagação vegetativa pode ser realizada por diversas técnicas, sendo o método definido conforme o objetivo, a espécie e o tipo de propágulo disponível (Wendling *et al.*, 2005). Dentre essas técnicas, pode-se citar a enxertia, estaquia, micropropagação e miniestaquia.

No Brasil, a propagação vegetativa de espécies florestais em larga escala foi introduzida no final da década de 70, com espécies do gênero *Eucalyptus* (Alfenas *et al.*, 2004), por meio da técnica da estaquia. A partir da década de 90, com o aprimoramento dessa técnica, surgiu a miniestaquia, que tem sido a mais empregada para a propagação de *Eucalyptus*, principalmente por unir a qualidade da muda formada à redução dos custos de produção (Santos *et al.*, 2005).

A miniestaquia consiste na utilização de brotações de minicepas com 4-8 cm de comprimento, contendo um ou mais pares de folhas seccionadas transversalmente, a cerca de um terço de seu comprimento, e pode ser dividida nas fases de produção de brotos em minijardim clonal, indução do enraizamento adventício, aclimatização e rustificação, para posterior plantio (Alfenas *et al.*, 2004).

As miniestacas podem ser classificadas em apical, intermediária ou basal, dependendo da posição de coleta no ramo. Elas devem ser coletadas durante o período de crescimento vegetativo, de preferência na parte da manhã, para evitar desidratação (Ritzinger e Graziotti, 2005).

Na miniestaquia, as plantas matrizes, denominadas minicepas, são mantidas no viveiro e o conjunto dessas minicepas forma um minijardim. Os minijardins, clonal ou multiclonal, são estabelecidos em espaços relativamente pequenos, em canteiros suspensos e, geralmente, sob cobertura fixa ou retrátil (Alfenas *et al.*, 2004), cuja implantação pode ser realizada sob diferentes sistemas, tais como tubetes, canaletão, sacos plásticos e vasos (Cunha *et al.*, 2005).

Esses sistemas de minijardim apresentam características diferentes entre si, no que diz respeito à estrutura e ao manejo. No canaletão, a restrição radicular, as perdas de nutrientes e de água são menores. Para minijardins em tubetes há maior necessidade de irrigação e reposição de nutrientes, principalmente à base de nitrogênio (Silva *et al.*, 2012). Além disso, o intervalo de coletas das brotações também varia em função do tipo de minijardim e da espécie. Neste caso, apesar das espécies serem diferentes, Cunha *et al.* (2008) e Ferreira *et al.* (2012) observaram intervalo entre coletas de 15 dias, respectivamente, para *Erythrina falcata*, em minijardim em canaletão de areia com fertirrigação e para *Toona ciliata* em canaletão com substrato a base de fibra de coco e casca de pinus carbonizada. Já para *Handroanthus heptaphyllus*, o intervalo é de 30 dias em minijardim conduzido em tubetes (Oliveira *et al.*, 2015).

A propagação vegetativa por miniestaquia apresenta como vantagens, uniformização dos plantios, maximização dos ganhos em produtividade e qualidade da madeira e possibilidade de adaptações de clones específicos para determinados sítios (Alfenas *et al.*, 2004). Além disso, pode ser uma ferramenta eficaz para os melhoristas, já que permite a multiplicação de materiais genéticos que sejam tolerantes ou resistentes a uma determinada doença ou ataque de pragas.

Apesar de todas as vantagens, existem certos fatores que limitam a sua aplicação, como o efeito da posição onde foram coletados os propágulos, a variação entre clones quanto ao enraizamento e a dificuldade de enraizamento de propágulos provenientes de árvores adultas (Hartmann *et al.*, 2011; Eldridge *et al.*, 1994).

Comercialmente, a propagação do cedro australiano, em maior escala, tem sido realizada via seminífera. Mas, segundo Scocchi *et al.* (2004), quando as sementes são armazenadas em temperatura ambiente ocorre perda rápida do

poder germinativo. Para manter sua viabilidade por um ano, as sementes devem ser armazenadas a -18 °C ou em nitrogênio líquido, a -196 °C.

Devido ao alto custo e à perda rápida da viabilidade das sementes, à falta de uniformidade dos povoamentos implantados com mudas propagadas por sementes e à expressão de genes com características indesejáveis, a propagação vegetativa torna-se uma alternativa necessária para a implantação de povoamentos comerciais. Atualmente, existem disponíveis no mercado mudas clonais de cedro australiano com características superiores, propagadas por miniestaquia (Bela Vista Florestal, 2015).

Alguns estudos utilizando a propagação vegetativa por miniestaquia para o cedro australiano já têm sido desenvolvidos no Laboratório de Fitotecnia (LFIT) da UENF. Souza et al. (2009) verificaram ser viável a utilização da propagação vegetativa dessa espécie com produção das mudas enraizadas sem a necessidade de aplicação do ácido indolbutírico (AIB).

Moraes et al. (2014) avaliaram o enraizamento de miniestacas de diferentes propágulos (caulinar apical, caulinar intermediário, foliar com e sem cruzeta), obtidos de mudas de cedro australiano, em dois ambientes, e constataram que as miniestacas apresentavam alto potencial de enraizamento em ambientes com nebulização intermitente, mantidas em elevada umidade relativa do ar (80-100%), recomendando a utilização de propágulos caulinares.

Ferreira et al. (2012) avaliaram a produção de mudas, a partir de miniestacas apicais, intermediárias e basais e recomendaram todas as posições de coleta nas brotações para a propagação de *Toona ciliata* por miniestaquia, não apresentando diferença no crescimento inicial pós-plantio.

Silva et al. (2012) avaliaram a sobrevivência, a capacidade produtiva das minicepas e a qualidade de mudas de cedro australiano, obtidas de minicepas manejadas em sistemas de canaletões e em tubetes, ao longo de coletas sucessivas. Não foi observada queda na produtividade das minicepas ao longo de seis coletas sucessivas em canaletão e quatro em tubetes. Também se verificou que o sistema de minijardim conduzido em canaletão é mais produtivo, resultando em mudas com maior altura e menor massa seca do sistema radicular em comparação com o sistema em tubetes.

Souza et al. (2015) avaliaram a relação entre a produtividade de minicepas e o teor inicial de nutrientes na parte aérea em dois sistemas de

minijardim multiclonal, e verificaram que níveis mais elevados de nutrientes possivelmente favorecem o ganho em produtividade. Dessa forma, a reposição dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) pode favorecer o aumento da produtividade nos dois sistemas de produção.

Souza (2010) avaliou dois sistemas de minijardim multiclonal de cedro australiano, conduzidos em tubete e canaletão, quanto à produtividade e remoção de nutrientes ao longo do tempo pelas minicepas, submetidas a coletas sucessivas de miniestacas. Foi constatado que a produtividade das minicepas manejadas em canaletão foi superior à dos tubetes. O conteúdo de nutrientes removidos pelas minicepas foi maior no sistema canaletão, sendo o nitrogênio e o potássio os mais removidos pelas minicepas em ambos os sistemas de produção.

Lamônica (2013) comparou a produtividade de minicepas clonais, produzidas a partir de brotações de cepas adultas de três matrizes de cedro australiano (TC3, TC9 e TC15) e avaliou a exportação de nutrientes pelo manejo, bem como a qualidade de mudas produzidas por miniestacas até a décima coleta. Foi observado que o número de brotações das minicepas dos clones aumentou ao longo das coletas sucessivas. O clone TC9 removeu mais nutrientes que os demais, sendo o clone TC3 o mais eficiente na utilização de nutrientes.

Barros (2015) avaliou a produtividade, o enraizamento, o crescimento de mudas de três clones de cedro australiano em função da miniestaquia seriada, além da anatomia da base do caule de dois desses clones, e verificou que não houve efeito positivo dos dois cultivos seriados, indicando um pequeno grau de revigoreamento. Também não foram observadas barreiras anatômicas ao enraizamento dos clones.

Além do cedro australiano, várias espécies têm sido estudadas quanto à utilização da miniestaquia como a *Cedrela fissilis* (Xavier *et al.*, 2003), *Erythrina falcata* (Wendling *et al.*, 2005), *Pinus taeda* (Alcantara *et al.*, 2007), *Ilex paraguariensis* (Wendling *et al.*, 2007), *Gravillea robusta* (Souza Junior *et al.*, 2008), *Calophyllum brasiliense* (Silva *et al.*, 2010) e *Handroanthus heptaphyllus* (Oliveira *et al.*, 2015). Todos esses autores concluíram que a técnica da miniestaquia foi viável, tornando-se uma alternativa para produção de mudas.

3.4- Aspectos fisiológicos do crescimento das plantas

O crescimento e a produtividade é o resultado da diferença entre os ganhos de carbono via fotossíntese e as perdas via respiração (Atkin et al., 2007). O carbono que não é consumido pela respiração aumenta a massa seca da planta e pode ser aplicado para o crescimento ou para reserva. Dessa forma, a taxa de crescimento das plantas aumenta com um maior ganho de CO₂ e, portanto, está correlacionada com a capacidade fotossintética. Entretanto, nas condições de plantio, as plantas podem estar submetidas a diferentes fatores ambientais que podem afetar a produção de massa seca por meio das influências sobre as trocas gasosas e sobre o balanço de carbono (Larcher, 2006).

Assim, a seleção de genótipos que apresentem maiores taxas fotossintéticas ou menores perdas pelo processo respiratório nestas condições de estresse ambiental é de grande importância na indicação de genótipos mais adaptados às condições do local de plantio. De acordo com Silva (2003), é importante ressaltar que a junção das respostas fisiológicas com as características biométricas pode ser mais eficiente para caracterizar a qualidade das mudas produzidas.

Outro fator que exerce influência negativa no estabelecimento e crescimento das plantas são as interrupções no transporte de água pelo *continuum* solo-planta-atmosfera. A água é, juntamente com o CO₂, a substância necessária para a fotossíntese, pois durante a captação de CO₂ pelo processo fotossintético, as folhas perdem água pela transpiração. Contudo, não é a pequena quantidade de água utilizada na fotossíntese que a torna um fator limitante significativo, mas sim, a grande quantidade necessária para manter a hidratação do protoplasma (Larcher, 2006).

O transporte de água até a parte aérea das plantas é um processo complexo que sofre influência da condutividade hidráulica. A condutividade hidráulica da planta (k) é a soma da condutividade hidráulica da raiz, do tronco/ramos e das folhas ($k_{\text{solo-folha}}$). A facilidade com que a água chega até os estômatos é diretamente proporcional a esta condutividade hidráulica de todo o sistema. Dessa forma, qualquer impedimento que altere o fluxo normal da água no sistema solo-planta até a atmosfera irá limitar a condutância estomática, as trocas gasosas das folhas (Hubbard et al. 1999; Tyree and Ewers 1991) e,

consequentemente, efeitos negativos sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

Espécies com alta condutividade hidráulica tendem a crescer mais rápido do que espécies com valores mais baixos (Comas et al., 2002, Tyree et al. 1998), entretanto, plantas que possuem elevada condutividade hidráulica da raiz ficam impossibilitadas de serem cultivadas em áreas com déficit hídrico severo, uma vez que estas plantas podem secar o solo mais rapidamente (DaMatta e Ramalho, 2006).

Conjectura-se que as mudas clonais, possam apresentar maior condutividade hidráulica das raízes (CHR) por terem, normalmente, maior volume radicular e quantidade de raízes finas se comparadas com mudas propagadas por sementes, e esta maior CHR pode elevar as trocas gasosas ao meio dia, e consequentemente incrementar o crescimento da parte aérea.

Além do volume e quantidade de raízes finas, outros fatores também influenciam a condutividade hidráulica, como exemplo as características anatômicas do xilema (Tombesi et al., 2009), a cavitação no xilema (Stiller et al., 2003), o confinamento e a deformação das raízes (Figueiredo et al., 2014a), estresses abióticos, como salino, temperatura e anoxia (Boursiac et al., 2008), córtex com menor número de células (Steudle e Peterson, 1998; Rieger e Livtin, 1999), atividade das aquaporinas (Brodrribb et al., 2014) e densidade de nervuras das folhas (Brodrribb e Fild, 2010).

Muitos trabalhos têm sido realizados mostrando a relação que a condutividade hidráulica exerce sobre as trocas gasosas e essas sobre o crescimento e a produtividade das culturas, como os desenvolvidos por Medina et al. (1998), Hubbard et al. (1999), Hubbard et al. (2001), Tyree (2003). Entretanto, devido às peculiaridades de cada espécie e das condições de cultivo, os resultados não devem ser generalizados. Assim, muitas pesquisas ainda podem ser realizadas e novas respostas adaptativas das plantas poderão ser observadas.

Para o cedro australiano, as pesquisas científicas neste sentido ainda são incipientes. Dessa forma, estudar a atividade fotossintética relacionando com a condutividade hidráulica de mudas clonais e seminíferas desta espécie é de grande relevância para os programas de melhoramento genético e também para a seleção de genótipos mais adaptados às condições adversas do local de plantio.

3.5- Cálcio e Boro

O vigor e o crescimento inicial das plantas após o plantio é uma característica importante, e pode ser um fator limitante para o sucesso do povoamento (Ferreira et al., 2012). Portanto, é necessário fornecer às plantas todos os nutrientes essenciais, e em proporções adequadas, para evitar desequilíbrios, como deficiência ou excesso de nutrientes, e consequentes limitações ao crescimento das plantas ou mesmo sua morte.

Para adequar a fertilização e as quantidades requeridas de nutrientes pelas espécies, faz-se necessário conhecer as necessidades nutricionais de cada uma delas. Porém, para muitas espécies florestais são escassas as informações sobre as exigências nutricionais.

Segundo Barros et al. (2000), a demanda por nutrientes pelas plantas depende da sua taxa de crescimento e da eficiência com que ela converte os nutrientes absorvidos em biomassa. Para um mesmo material genético, em uma determinada região, há uma correlação entre a taxa de crescimento e o acúmulo de nutrientes na biomassa.

A avaliação da eficiência de utilização dos nutrientes em diferentes espécies florestais, procedências e/ou clones auxilia o silvicultor na escolha do material a ser utilizado nos reflorestamentos (Caldeira et al., 2004). De maneira geral, a eficiência na utilização de nutrientes pelas plantas é inferior a 50%, sendo grande parte dos nutrientes aplicados, perdidos no sistema solo-planta. Assim, melhorar a eficiência de utilização é imprescindível do ponto de vista econômico e ambiental (Baligar e Fageria 2015), principalmente em função da demanda por produtividades mais elevadas e redução de custos com o uso de fertilizantes. Para isso, a fonte do adubo, a concentração adequada, a época e o método de aplicação devem ser empregados de forma a elevar a eficiência.

Os indivíduos altamente eficientes na utilização de nutrientes podem ser produtivos, com menor requerimento de nutrientes, ou apresentar maior conversão dos nutrientes em biomassa, em virtude do rápido transporte no xilema e rápida assimilação e/ou grande capacidade de ciclagem interna (Graham, 1984).

O cálcio é essencial para a constituição e para o metabolismo vegetal. O teor de cálcio trocável em solos normais varia de 65 a 85% de sua capacidade de

troca total (Carvalho e Chalfoun, 1991).

O cálcio é o nutriente absorvido como íon bivalente (Ca^{+2}), contendo nas plantas, segundo Furlani (2004), teores variando de 5 a 80 g kg^{-1} , em função do seu período de crescimento.

O cálcio atua no desenvolvimento das raízes, sendo um nutriente necessário na translocação e no armazenamento de carboidratos e proteínas, além da formação e integridade das membranas e da parede celular. Por ser imóvel na planta, o sintoma típico de deficiência surge como clorose internerval nas folhas mais novas, podendo ocorrer também morte de tecidos do caule e pecíolo das folhas, queda das flores e mau desenvolvimento das sementes (Sengik, 2003). Um sintoma comum da deficiência de cálcio é o limitado crescimento do sistema radicular, acompanhado de escurecimento e apodrecimento (Vitti et al., 2006). Nessas condições, menores volumes de solo são explorados, prejudicando a absorção de água e nutrientes.

Barroso et al. (2005) verificaram que as mudas de teca (*Tectona grandis*) com 4 meses de idade, na ausência de cálcio, apresentaram redução drástica do crescimento, clorose internerval, encarquilhamento e necrose das folhas, morte da gema apical, paralisação de emissão de raízes novas e apodrecimento das raízes secundárias. Além da caracterização da sintomatologia visual, os autores avaliaram o crescimento e o teor de nutrientes nas mudas e observaram que a massa seca da parte aérea foi reduzida pela ausência do Ca em 80%, em relação à solução completa. Quanto aos teores de nutrientes, na ausência de Ca, as mudas apresentaram redução de Ca e K na parte aérea e no sistema radicular e aumento de Mg e Fe na parte aérea.

Gomes et al. (2008) com o objetivo de avaliar o desempenho inicial da garapa (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) Macbride) submetida a níveis de saturação por bases (original = 24, 40, 50, 60 e 70%) verificaram, aos 120 dias após a semeadura, que o nível de calagem recomendado para a formação de mudas é aquele que proporciona a elevação da saturação por bases a 60%, uma vez que nesse nível foi obtida a maior produção de massa seca da parte aérea (MSPA).

Bernadino et al. (2007) verificaram a influência da saturação por bases sobre o crescimento e a qualidade de mudas de *Dalbergia nigra* (jacarandá-da-bahia) em três tipos de solo: latossolo distrófico (30, 50 e 70%); Latossolo álico (25, 45 e 65%); Argissolo (50 60 e 70%). Os autores concluíram após 120 dias de

cultivo, que quando a saturação original do solo for igual ou superior a 14% no Latossolo distrófico e 4% no Latossolo álico, não há necessidade de se proceder à correção do solo, enquanto no Argissolo, as mudas de melhor qualidade são obtidas quando a saturação está em torno de 60%.

É importante ressaltar que a resposta à prática da calagem pode ou não ocorrer, dependendo das características das espécies que se pretende produzir, principalmente no que se refere à tolerância à acidez (Vale et al., 1996).

Outro nutriente importante para as plantas é o boro. É absorvido pela planta como ácido bórico (H_3BO_3) e, provavelmente, como ânion borato ($B(OH)_4^-$) em valores de pH elevados, tanto por via radicular como por via foliar (Dechen e Nachtigall, 2007).

Segundo Malavolta *et al.* (1993), o cálcio e o boro atuam em conjunto, desempenhando atividades nas plantas, como a migração de carboidratos das folhas para os tecidos armazenadores, como os grãos, as raízes e os caules. São também fundamentais para o desenvolvimento das gemas e das extremidades radiculares (Yamada, 2004).

Além dessas funções, o boro tem ação reguladora em hormônio de crescimento (Ácido indol acético); participa da síntese de ácidos nucleicos e, conseqüentemente, de proteínas (Malavolta, 2006); desempenha papel importante no florescimento; crescimento do tubo polínico; nos processos de frutificação; no metabolismo do nitrogênio e na atividade de hormônios (Dechen e Nachtigall, 2007).

Por ser bastante imóvel na planta, o sintoma de deficiência de boro é a morte do broto apical do ramo principal e a seguir, dos ramos laterais. Em eucalipto a deficiência de boro pode promover a rachadura do caule. Em mudas de teca ocorre necrose nas folhas mais novas (Locatelli et al. 2006). Em cafeeiro e citros a formação de novos ramos resulta em superbrotamento, originando o aspecto em roseta (Sengik, 2003). É comprovado também, segundo Dechen e Nachtigall (2007), que plantas deficientes em boro possuem paredes celulares menos resistentes do que aquelas sem carência.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos visando à adequação do fornecimento de boro para a nutrição de espécies florestais como as do gênero *Eucalyptus* (Mattiello et al., 2009; Ramos et al., 2009; Barreto et al., 2007; Silveira et al., 2002). Para as nativas, relata-se o estudo desenvolvido por Lima et al.

(2003), com paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb.).

Segundo Pádua et al. (2011), estudando os efeitos da omissão de micronutrientes sobre a produção de mudas de cedro australiano em sistema hidropônico, verificaram que o nutriente mais limitante para o crescimento foi o boro, resultando em mudas com menor produção de massa seca total da parte aérea e do sistema radicular. Segundo Guerra et al. (2006), esse resultado pode estar relacionado à integridade das membranas das extremidades radiculares, levando à má formação de células, precocidade de diferenciação e morte de tecidos meristemáticos.

Para o cedro rosa, foram registrados apenas estudos realizados por Paiva et al. (2000), Paiva et al. (2003) e Souza et al. (2009b). Paiva et al. (2000) cultivaram mudas de cedro rosa em solução nutritiva submetidas a níveis de Cd (0, 22, 44, 88 e 132 μM), Ni (0, 42, 84, 168 e 252 μM), Pb (0, 48, 96, 192 e 288 μM) e Zn (0, 76, 152, 304 e 456 μM), durante 60 dias, e verificaram que houve redução nas avaliações de raiz, caule, folha e produção de massa seca com um aumento nos níveis de metais pesados. O grau de toxicidade destes metais, considerando a produção de massa seca total foi de Cd>Pb>Ni>Zn.

Paiva et al. (2003) constataram que a aplicação de doses crescentes de Zn (2, 76, 152, 304 e 456 $\mu\text{mol L}^{-1}$), em solução nutritiva, aumenta o teor de P, K, Zn e Cu, reduz o teor de Ca, Mg, Fe, Mn e o conteúdo de macro e de micronutrientes nas diferentes partes das plantas analisadas. O índice de translocação de macro e de micronutrientes, da raiz para a parte aérea, aumenta com a concentração de Zn no meio de crescimento, com exceção do fósforo.

Souza et al (2009b) avaliaram os efeitos da fertilização completa com N, P, K, Ca, Mg, S, B e Zn e da omissão desses nutrientes no desenvolvimento de plântulas de cedro rosa e observaram que o N e P foram os nutrientes mais limitantes para o desenvolvimento da espécie. Os nutrientes exigidos pelas plântulas, tomando como parâmetro a produção de massa seca da parte aérea do tratamento completo, foram, em ordem decrescente, P>N>K>B>S>Ca>Zn>Mg.

26 handling of ministumps influences the success of propagation. The objective of this study was to
27 evaluate and compare the productivity of mini, nutrients exported by shoots of three clones of
28 *Toona ciliata* var. *australis* and the total nutrient intake during the production period. In each
29 budding collection survival was measured, the number of shoots and cuttings produced by
30 ministump and conducted nutritional monitoring in 18 collections. At the end, the ministumps were
31 drawn from flowerbeds suspended to perform a complete nutritional analysis. The consumption
32 curves for 432 days and the total amounts used in the process are presented. The TC3 clone was
33 more productive in the 18 shoots collections featuring more efficient conversion of nutrients
34 absorbed to produce sprouts and cuttings. From the 9th collection of cuttings is indicated the
35 replacement of nutrients to maintain the productivity of always constant minigarden. Potassium,
36 nitrogen and calcium were more nutrients exported by shoots of australian cedar clones.

37 **Keywords:** minigarden; mineral nutrients; forest species.

38

39 INTRODUÇÃO

40 A propagação vegetativa consiste na produção de novos indivíduos, a partir de uma planta
41 doadora, utilizando-se, para isso, propágulos vegetativos, como por exemplo, as brotações emitidas
42 por minicepas estabelecidas em minijardim. Essa técnica permite a multiplicação de materiais
43 genéticos selecionados que resultarão em mudas de qualidade, plantios mais uniformes e, em
44 função da seleção, em maior produtividade.

45 O estado nutricional da planta doadora de propágulos é de grande importância para a
46 manutenção do seu vigor vegetativo, fundamental para a produção de miniestacas e também para
47 determinar os índices de enraizamento e a velocidade de formação das raízes, uma vez que os
48 macro e os micronutrientes estão envolvidos nos processos bioquímicos e fisiológicos vitais às
49 plantas (Assis et al. 2004). O minijardim clonal como a base do setor florestal e seu manejo, de
50 uma forma geral, o alicerce de uma propagação massal eficaz (Freitas, 2013). Portanto, o
51 fornecimento de nutrientes em quantidades ideais durante o manejo das minicepas determina o
52 sucesso da propagação vegetativa.

53 De acordo com Wendling et al. (2005), a nutrição adotada no minijardim está intimamente
54 relacionada com a redução do intervalo entre as coletas de brotações e o ganho em produtividade
55 de miniestacas por minicepa. Além da nutrição, o fator genético deve ser considerado. Em caso de
56 reposição de nutrientes, esses autores recomendam que seja realizada com maior frequência e
57 menor quantidade por aplicação, para maior aproveitamento pelas minicepas.

58 Apesar da relevância, poucas informações são conhecidas a respeito, para diversas
59 espécies. Sabe-se que no início do enraizamento, por exemplo, o nitrogênio é essencial, por
60 participar da síntese de ácidos nucleicos e de proteínas (Hartmann et al., 2002). O zinco é
61 imprescindível na formação das raízes por ser ativador do triptofano, precursor da auxina e o boro é
62 considerado um cofator do enraizamento, atuando no processo rizogênico em conjunto com a
63 auxina, facilitando o transporte através das membranas e manutenção de sua integridade (Hirsch e
64 Torrey, 1980; Roth-Bejerano e Itai, 1981).

65 Todos os macro e micronutrientes são necessários para o crescimento e desenvolvimento
66 das plantas, contudo as quantidades requeridas diferenciam entre as espécies ou mesmo entre
67 clones de uma mesma espécie. Sendo assim, o estudo do potencial de diferentes clones de cedro
68 australiano, relacionados à nutrição das minicepas e produtividade de miniestacas, contribuirá para
69 ajustes no manejo da propagação vegetativa e implantação de povoamentos que demandam
70 uniformidade e produtividade, atendendo assim as necessidades de empresas e produtores rurais.

71 Neste contexto, objetivou-se avaliar e comparar a produtividade do minijardim, os
72 nutrientes exportados pelas brotações de três clones de *Toona ciliata* var. *australis* e o consumo
73 total de nutrientes durante 432 dias de exploração do minijardim.

74

75

76

77

78 MATERIAIS E MÉTODOS

79 O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada na Universidade Estadual do
80 Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no município de Campos dos Goytacazes, RJ. A espécie estudada
81 foi o cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell.), cujos clones foram
82 selecionados e resgatados por brotação de cepas de três árvores com 8 anos por Lamônica (2013),
83 apresentando divergência genética entre si e alto potencial produtivo (Tavares *et al.*, 2012) em um
84 povoamento comercial, localizado no município de Santa Maria Madalena-RJ, latitude 22° 51' (S)
85 e longitude 41° 09' (W), a 118 m de altitude. O povoamento foi implantado com espaçamento 3 x 2
86 m, com mudas produzidas por sementes.

87 O minijardim com os três clones foi implantado por Lamônica (2013) em canaletões, em
88 casa de vegetação com cobertura plástica (filme agrícola 150 µm) e sombrite 30%. Para formação
89 do minijardim, as minicepas de cada clone foram recepadas a 8 cm de altura e dispostas nos
90 canaletões no espaçamento de 0,15 x 0,15 m, em delineamento em blocos casualizados (DBC) com
91 seis repetições, contendo sete plantas por repetição, totalizando 42 minicepas por clone.

92 O monitoramento da produtividade dos três clones foi realizado a partir da 11ª coleta de
93 brotações, complementando estudos realizados por Lamônica (2013). Porém, a análise estatística
94 foi realizada com os dados coletados nas dezoito coletas de brotações. Em virtude da velocidade de
95 crescimento das brotações, até a 13ª coleta o intervalo entre elas foi de 21 dias, e nas demais, de 30
96 dias, sendo aos 30, 51, 72, 93, 114, 135, 156, 177, 198, 219, 240, 261, 282, 312, 342, 372, 402, 432
97 dias após a formação do minijardim.

98 O monitoramento nutricional foi realizado em cada coleta, a partir de oito minicepas
99 selecionadas de cada clone. Ao final do experimento, essas minicepas foram extraídas dos
100 canaletões, e seccionadas em parte aérea e raízes para realizar a análise nutricional.

101 Para isso, tanto as brotações colhidas quanto as minicepas foram armazenadas em sacos de
102 papel pardo devidamente identificadas e secas em estufa de circulação forçada, a 65°C, por 72
103 horas. Após esse período, determinou-se o peso seco em balança analítica de precisão. O material
104 vegetal foi triturado em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh e então submetido à
105 análise química para determinação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca),
106 magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B),
107 conforme metodologias descritas por Malavolta *et al.* (1997) e Jones Jr. *et al.* (1991).

108 As amostras foram submetidas à digestão nítrico-perclórica (HNO₃ e HClO₄) e os extratos
109 utilizados para determinação de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn. O P foi determinado
110 colorimetricamente, pelo método azul de molibdato, o K, por espectrofotometria, e o S, por
111 turbidimetria com cloreto de bário. O Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn foram determinados por
112 espectrofotometria de absorção atômica, o nitrogênio (N) pela digestão Kjeldahl (Anderson e
113 Ingram, 1996) e o Boro (B) por colorimetria, pelo método da curcumina, após incineração em
114 mufla.

115 O conteúdo de cada nutriente extraído ao longo das coletas de brotações e o total de
116 nutrientes utilizados durante a condução do minijardim foram estimados a partir da massa seca das
117 brotações das 18 coletas e das partes seccionadas das minicepas e a concentração dos nutrientes.

118 Os dados referentes ao conteúdo de nutrientes acumulados das minicepas, e a massa seca
119 removida ao longo das coletas das brotações foram submetidos à análise de regressão, e os
120 coeficientes das equações testados com o teste t de student. Também foi quantificado em cada
121 coleta, a sobrevivência das minicepas, o número de brotações e de miniestacas produzidas por
122 minicepa. Os dados referentes à sobrevivência foram transformados em arco-seno \sqrt{x}
123 (Zimmermann, 2004). Após a transformação, os dados foram submetidos à análise de variância e as
124 diferenças comparadas pelo teste de Tukey (5%). O número de miniestacas e de brotações foram
125 submetidos a análises descritivas, o número de miniestacas acumuladas ao longo das coletas das
126 brotações foi submetido a ajustes de regressão, e os coeficientes das equações testados com o teste t
127 de student.

128

129

130

131 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

132 Foram obtidas altas taxas de sobrevivência das minicepas de *Toona ciliata*, ao final de
 133 dezoito coletas de brotações (432 dias), variando de 96,9 a 100% (Tabela 1). Esse percentual de
 134 sobrevivência indica que a espécie é tolerante à poda apical e às coletas sucessivas, possibilitando a
 135 utilização desse sistema para produção de mudas. Não houve diferença do percentual de
 136 sobrevivência ao longo das coletas que, embora alto, foi diferente entre clones, com menor
 137 percentual obtido pelo clone TC15 (96,9%). Os clones TC3 e TC9 apresentaram, respectivamente,
 138 100 e 98,9% (Tabela 1).
 139

Tabela 1: Sobrevivência de minicepas de três clones de cedro australiano (*Toona ciliata*), em função de dezoito coletas de brotações.

Table 1: Ministumps survival three Australian cedar clones (*Toona ciliata*), according eighteen collections of shoots.

Intervalo entre coletas (dias)	Sobrevivência (%)			
	Clone TC3	Clone TC9	Clone TC15	Média
30	100,0	100,0	100,0	100,0 a
51	100,0	100,0	100,0	100,0 a
72	100,0	100,0	100,0	100,0 a
93	100,0	100,0	100,0	100,0 a
114	100,0	100,0	100,0	100,0 a
135	100,0	100,0	100,0	100,0 a
156	100,0	100,0	97,6	99,2 a
177	100,0	100,0	95,2	98,4 a
198	100,0	100,0	95,2	98,4 a
219	100,0	100,0	95,2	98,4 a
240	100,0	97,6	95,2	97,6 a
261	100,0	97,6	95,2	97,6 a
282	100,0	97,6	95,2	97,6 a
312	100,0	97,6	95,2	97,6 a
342	100,0	97,6	95,2	97,6 a
372	100,0	97,6	95,2	97,6 a
402	100,0	97,6	95,2	97,6 a
432	100,0	97,6	95,2	97,6 a
Média	100,0 A	98,9 A	96,9 B	
CV (%)		7,24		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). *Até a 10ª coleta, os dados foram obtidos por Lamônica (2013).

140

141

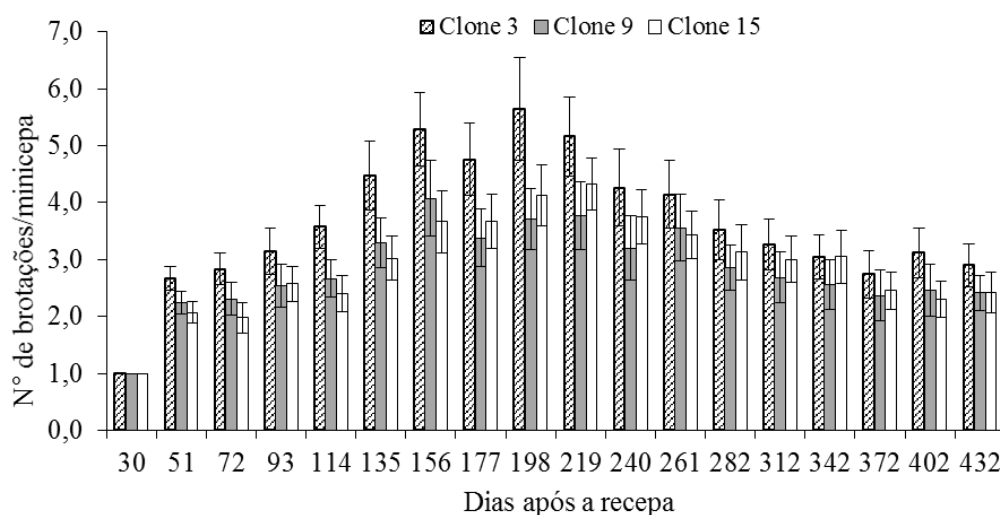
142 Em estudo realizado por Pereira (2014), em que foi avaliado o resgate e a propagação
 143 vegetativa via miniestaquia para cedro australiano, em minijardim clonal em canaletão de areia,
 144 verificou-se que, em quatro coletas, com intervalo médio de 29 dias, houve variação de
 145 sobrevivência das minicepas, sendo 94,5% na primeira e segunda coletas, 76,4% na terceira e
 146 ausência de mortalidade na quarta coleta. O autor sugere que possivelmente, esses resultados foram
 147 observados em função do período de adaptação das minicepas, aplicação de duas soluções
 148 nutritivas diferentes, e estresse térmico ocorrido durante a época de coleta.

149 Em minicepas da mesma espécie, estabelecidas a partir de mudas seminais, Silva et al.
 150 (2012) encontraram 100% de sobrevivência para sistemas de minijardins conduzidos em tubete e
 151 canaletão, após sete meses de condução. Xavier et al. (2003), Cunha et al. (2005), Cunha et al.
 152 (2008a) e Oliveira et al. (2015), também encontraram 100% de sobrevivência das minicepas,
 153 conduzidas em tubetes, para *Cedrela fissilis*, após quatro coletas, *Eucalyptus benthamii*, após cinco
 154 coletas, *Erythrina falcata*, após oito coletas e *Handroanthus heptaphyllus*, após oito coletas de
 155 miniestacas, respectivamente.

156 Dias et al. (2012), avaliando as minicepas seminais de seis progênies de meios-irmãos de
 157 angico vermelho também constataram alta sobrevivência, que variou de 84% a 98% ao final de seis
 158 coletas sucessivas, com intervalo de 26 dias. Gatti et al. (2011), para jequitibá rosa, verificaram
 159 sobrevivência média de 98%.

160 Em contrapartida, Neubert (2014) verificou menores percentuais de sobrevivência para as
 161 minicepas de *Plathymenia foliolosa* em minijardim clonal, após a quarta coleta sucessiva de
 162 miniestacas em relação aos trabalhos supracitados. Para as progênies P3 e P19 os percentuais foram
 163 de 64,5% e 61,5%, respectivamente, enquanto para as progênies P1 e P45, a sobrevivência foi de
 164 32,3% e 25%, respectivamente. O autor atribui estes resultados à maior sensibilidade das progênies
 165 P1 e P45 ao manejo adotado e às condições ambientais no minijardim clonal. Esses resultados
 166 demonstram que a sobrevivência das minicepas nas sucessivas coletas de miniestacas pode variar
 167 em função da espécie, do manejo e do sistema de condução. Entretanto, segundo Hartmann et al.
 168 (2002), o manejo adequado e a nutrição mineral são os principais fatores que afetam a
 169 sobrevivência e, conseqüentemente, o fornecimento de propágulos por serem importantes para a
 170 manutenção do vigor das minicepas.

171 De acordo com a Figura 1 é possível observar que para os três clones estudados, houve
 172 aumento no número de brotações até a 9ª coleta (198 dias). A partir daí, houve um decréscimo,
 173 devido, provavelmente, à perda de vigor das minicepas e, como não foram realizadas adubações
 174 posteriores, o balanço nutricional pode ter influenciado devido às sucessivas coletas. No entanto,
 175 mesmo com o decréscimo, o número de brotações permaneceu superior à primeira coleta.
 176



177
 178

179 Figura 1: Número de brotações produzidas por minicepas dos três clones de cedro australiano
 180 (*Toona ciliata*), em função do intervalo entre as coletas de brotações. Barras representam o
 181 Intervalo de Confiança das médias (95%). *Até a 10ª coleta, os dados foram obtidos por Lamônica
 182 (2013).

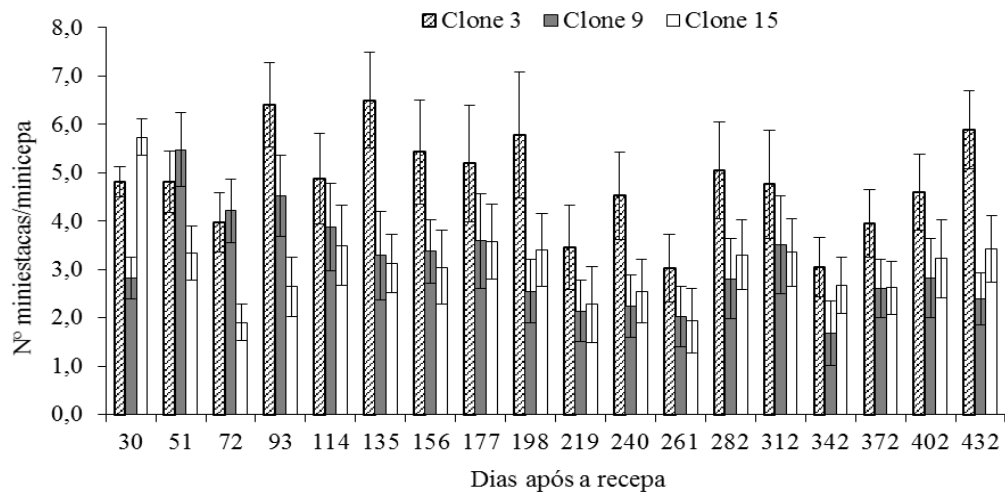
183 Figure 1: Number of shoots produced by minicopas of the three Australian cedar clones (*Toona*
 184 *ciliata*), depending on the interval between collections of shoots. Bars represent the average of the
 185 confidence interval (95%). *Until the 10th collection, the data were obtained by Lamônica (2013).
 186

187

188 Segundo Wendling e Souza Júnior (2003), após a primeira poda com a quebra da
 189 dominância apical ocorre um período de adaptação das minicepas. Deste modo, após a primeira
 190 coleta, as gemas dormentes tornaram-se ativas, resultando em maior estímulo ao crescimento,
 191 podendo esse tempo ser variável em função da espécie e das condições climáticas.

192 O clone TC3 apresentou maior número de brotações em relação aos demais clones apenas
 193 na 2ª, 5ª, 6ª e 9ª coletas (Figura 1).

194 Com relação ao número de miniestacas por minicepa, é possível verificar na Figura 2 um
 195 comportamento cíclico. Ao final de dezoito coletas, o clone TC3 apresentou em média maior
 196 número de miniestacas por coleta (4,78), seguido dos clones TC9 (3,11) e TC15 (3,09).



198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

Figura 2: Número de miniestacas produzidas por minicepas dos clones TC3, TC9 e TC15 de cedro australiano (*Toona ciliata*), em função do intervalo entre as coletas de brotações. Barras representam o Intervalo de Confiança das médias (95%). * Até a 10ª coleta, os dados foram obtidos por Lamônica (2013).

Figure 2: Number of cuttings produced by ministumps of TC3 clones TC9 and TC15 Australian cedar (*Toona ciliata*), depending on the interval between collections of shoots. Bars represent the average of the confidence interval (95%). *Until the 10th collection, the data were obtained by Lamônica (2013).

Oscilações na produção de miniestacas ocorrem frequentemente devido às quedas e retomadas da produção de brotações que podem estar relacionadas ao vigor fisiológico, ao intervalo entre as coletas e ao estado nutricional das minicepas. Fatores ligados às condições ambientais como, por exemplo, a variação da temperatura tanto no ambiente como no substrato também podem contribuir para esta resposta (Brondani et al., 2012, Xavier et al., 2003).

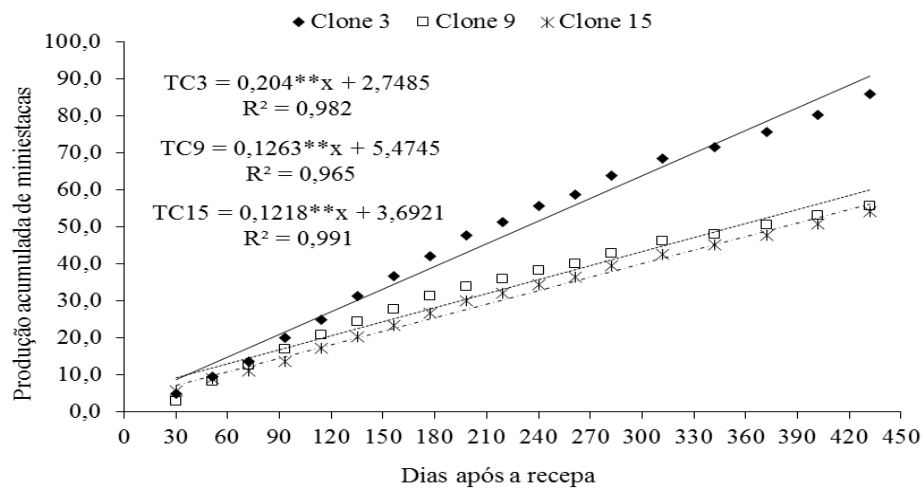
Os resultados obtidos no presente estudo foram superiores aos encontrados nos trabalhos de Silva et al (2012) utilizando a mesma espécie. As médias do número de miniestacas por minicepa obtidas para os sistemas em canaletão e tubete foram, respectivamente, 3,5 e 1,24 por coleta. Em intervalos de coletas de 15 dias no minijardim conduzido em canaletão, Ferreira (2009) obteve uma produção média por coleta de 1,18 miniestacas por minicepa. Esses dois autores utilizaram mudas propagadas a partir de sementes para estabelecerem seus minijardins. Em minijardim estabelecido em tubetes, Ferreira et al. (2010) verificaram que a produção de miniestacas por minicepa de leiteiro (*Sapium glandulatum*) a cada coleta, variou de 1,4 a 2,2, valores esses inferiores aos observados no presente estudo.

Já para o jequitibá rosa (*Cariniana estrellensis*), Gatti et al. (2011) encontraram média de 3,9 miniestacas por minicepa por coleta no minijardim estabelecido em tubete em intervalo de 30 dias, sendo este resultado superior aos observados para os clones TC9 e TC15. Dias et al. (2012) verificaram que o número médio de miniestacas por minicepas de progênes de meios-irmãos de angico vermelho variou de 1,2 a 3,7. Ao contrário do que foi observado no presente estudo, esses autores observaram que durante seis coletas no minijardim em sistema hidropônico houve aumento gradativo da produção de miniestacas seguido da sua estabilização.

Desse modo diversos estudos têm sido desenvolvidos utilizando a miniestacaquia como técnica de propagação, e diferentes respostas quanto às características analisadas puderam ser observadas, tanto entre as espécies, quanto entre diferentes materiais genéticos da mesma espécie.

Na figura 3 está apresentada a produção acumulada de miniestacas por minicepa ao final de 18 coletas (432 dias). Até a sexta coleta não foi observada diferença entre os clones. A partir daí, observa-se que o clone TC3 se destacou produzindo maior número de miniestacas (86,1). Os clones TC9 e TC15 produziram, respectivamente, 55,6 e 54,1 miniestacas em 432 dias, com intervalos de 21 dias até a 13ª coleta e de 30 dias nas demais, não apresentando diferença entre os clones. De

238 acordo com os coeficientes de regressão (β_1), o número de miniestacas produzidas por dia para os
 239 clones TC3, TC9 e TC15 é de aproximadamente 0,2; 0,13 e 0,12, respectivamente (Figura 3).
 240
 241

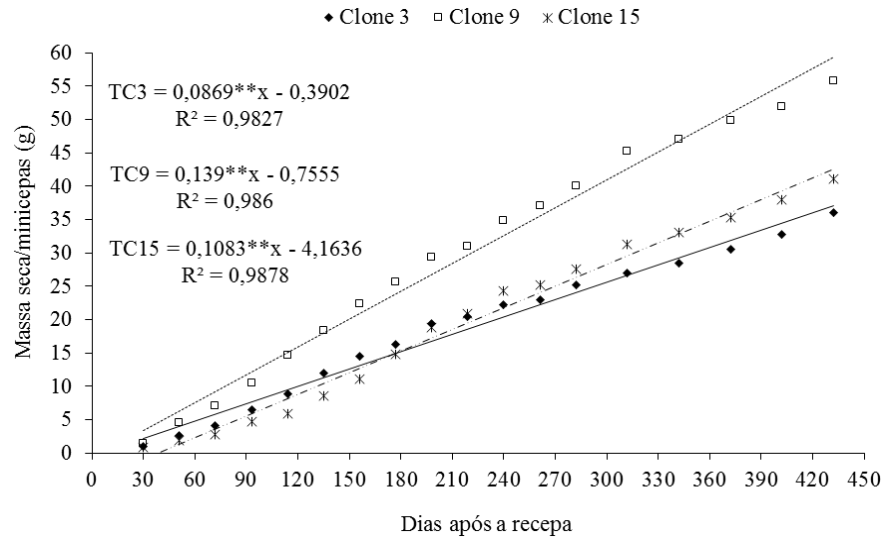


242
 243 Figura 3: Produção acumulada de miniestacas por minicepas dos clones TC3, TC9 e TC15 de
 244 *Toona ciliata* em 18 coletas. CV (20,5%). **Inclinação da reta altamente significativa. Até a 10ª
 245 coleta, os dados foram obtidos por Lamônica (2013).
 246 Figure 3: Cumulative minicuttings Production by ministumps of TC3 clones TC9 and TC15 of
 247 *Toona ciliata* in 18 collections. CV (20.5%). **Highly significant stretch of the slope. Until the
 248 10th collection, the data were obtained by Lamônica (2013).
 249
 250
 251

252 Souza et al. (2014) estudaram o cedro australiano em minijardim multiclonal em sistema de
 253 canaletão e verificaram que a produção acumulada de miniestacas ao final de cinco coletas com
 254 intervalos de 32 dias foi de aproximadamente 550 miniestacas por m². No presente estudo, a
 255 produção acumulada por metro quadrado em cinco coletas para os clones TC3, TC9 e TC15 foi,
 256 respectivamente, de 1106, 930 e 761 miniestacas. Esses resultados demonstram que além da
 257 vantagem de selecionar genótipos com características fenotípicas superiores, estes também
 258 apresentaram boa produtividade de miniestacas, com bom potencial para a produção comercial de
 259 mudas, ainda que provenientes de matrizes adultas.

260 Resultados inferiores foram obtidos por Maluleque (2014), ao estudar a produção
 261 acumulada de miniestacas por m² em sistema de minijardim hidropônico de quatro clones de cedro
 262 australiano (BV1110, BV1120, BV1150 e BV1321). O clone que produziu maior número de
 263 miniestacas foi o BV1120 (1515,6) em 22 coletas. Segundo este autor, essa produção é considerada
 264 baixa quando comparada com outras espécies, especialmente do gênero *Eucalyptus*.
 265

266 Avaliando os resultados obtidos da massa seca removida pelas brotações das minicepas
 267 selecionadas dos três clones foi possível observar que o clone TC9 foi o que removeu maior
 268 quantidade de biomassa, com 55,7g em média (Figura 4). Durante a condução do experimento,
 269 observou-se visualmente que este clone produzia brotações com maior área foliar e diâmetro do
 270 caule. Essas características foram as que, provavelmente, influenciaram estes resultados, uma vez
 271 que não produziram o maior número de miniestacas. Essa informação pode ser confirmada através
 272 da maior relação entre a massa seca e o número de miniestacas (11,3) observada no clone TC9,
 273 demonstrando que este clone produziu, em média, menor número de miniestacas com maior
 remoção de massa seca.



274

275 Figura 4: Massa seca removida pelas brotações das minicepas selecionadas dos três clones de
 276 *Toona ciliata* em cada coleta de brotações. Até o ciclo 10, os dados foram obtidos por Lamônica
 277 (2013), **Inclinação da reta altamente significativa.

278 Figure 4: Dry mass removed by the shoots of ministumps selected of Three *Toona ciliata* clones in
 279 each shoot collection. Until the cycle 10, data were obtained by Lamônica (2013) ** Straight Slope
 280 highly significant.

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

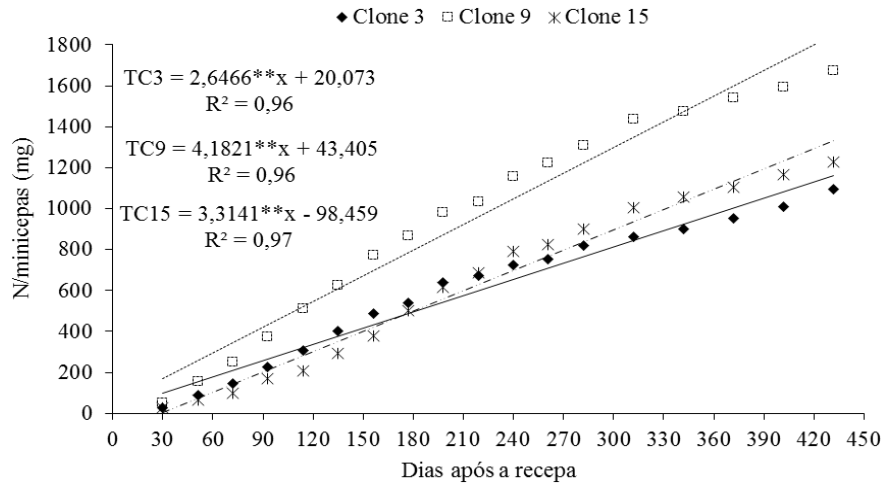
297

298

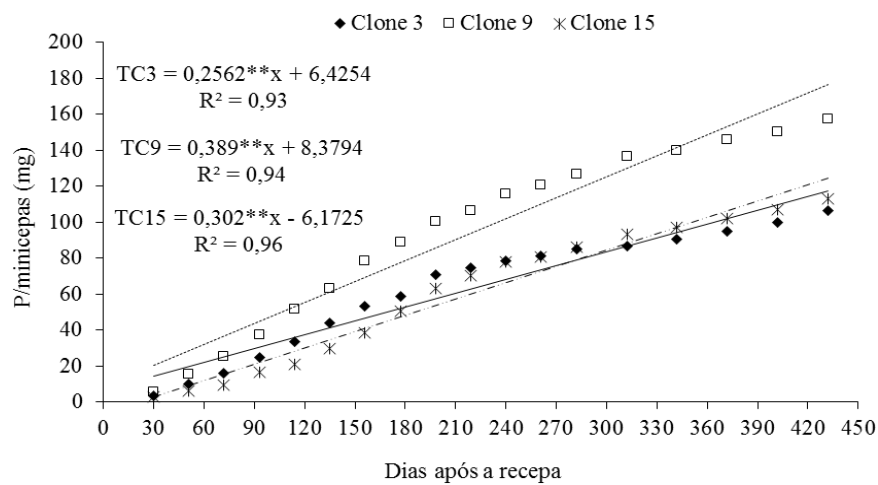
O clone TC9 também removeu maior conteúdo de macro e micronutrientes ao final de 18 coletas de miniestacas (Figuras 5, 6, 7 e 8), sendo N (1675,4 mg), P (157,1 mg), K (1819,6 mg), Ca (771,9 mg), Mg (131,5 mg), S (90,0 mg), Fe (3,9 mg), Cu (0,43 mg), Zn (3,1 mg), Mn (3,9 mg) e B (2,4 mg).

Apesar do clone TC9 ter removido maior quantidade de nutrientes, este clone não foi o que produziu o maior número de miniestacas. Comparando-o com o TC15 verifica-se que ele é mais exigente em nutrientes para produzir a mesma quantidade de miniestacas, uma vez que não houve diferença entre eles para essa variável (Figura 3). Com base nestas informações, é possível identificar que cada um dos clones apresenta exigências nutricionais diferentes. Dessa forma, para incrementar a produção de miniestacas, o manejo do minijardim deve ser diferenciado atendendo à demanda de cada material genético.

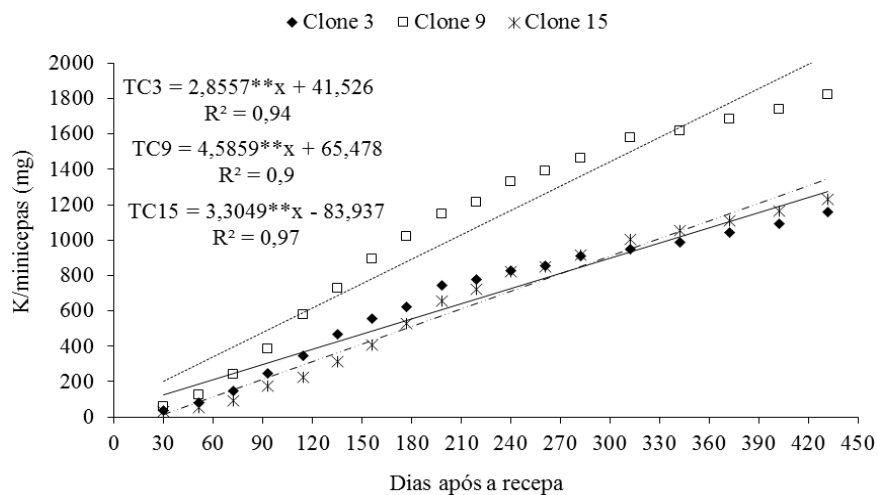
Segundo Higashi et al. (2000), essas diferenças observadas quanto ao acúmulo de nutrientes também evidenciam a importância de estudar as exigências nutricionais dos clones aliado à produtividade.



299



300

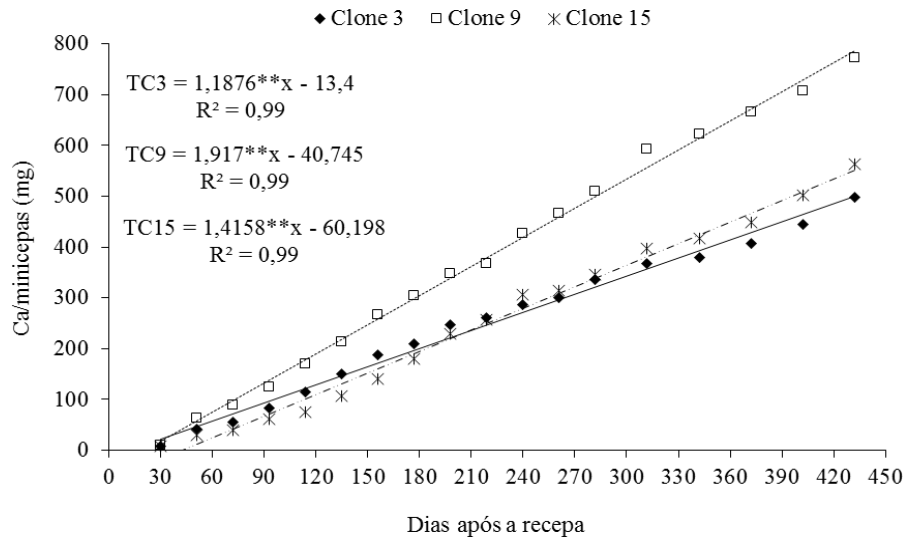


301

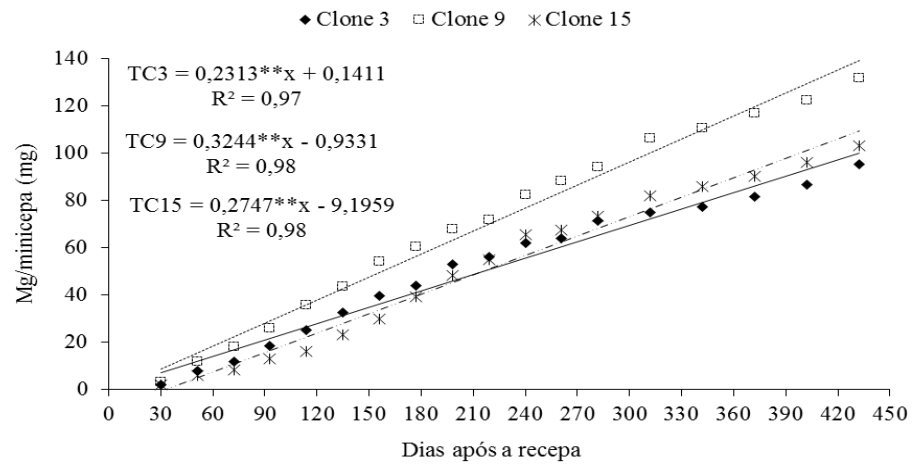
302

303 Figura 5: Conteúdo acumulado de nitrogênio, fósforo e potássio removidos pelas brotações das
 304 minicepas selecionadas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* em cada coleta do
 305 minijardim. **Inclinação da reta altamente significativa. Até a 10ª coleta, os dados foram obtidos
 306 por Lamônica (2013).

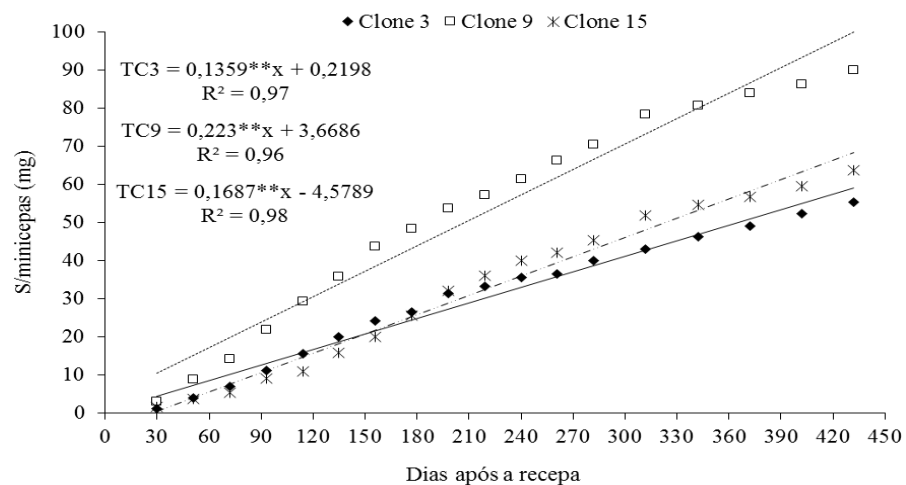
307 Figure 5: Cumulative nitrogen content, phosphorus and potassium removed by the shoots of
 308 ministumps selected of clones TC3, TC9 and TC15 of *Toona ciliata* in each collection of mini.
 309 **Highly significant stretch of the slope. Until the 10th collection, the data were obtained by
 310 Lamônica (2013).



311

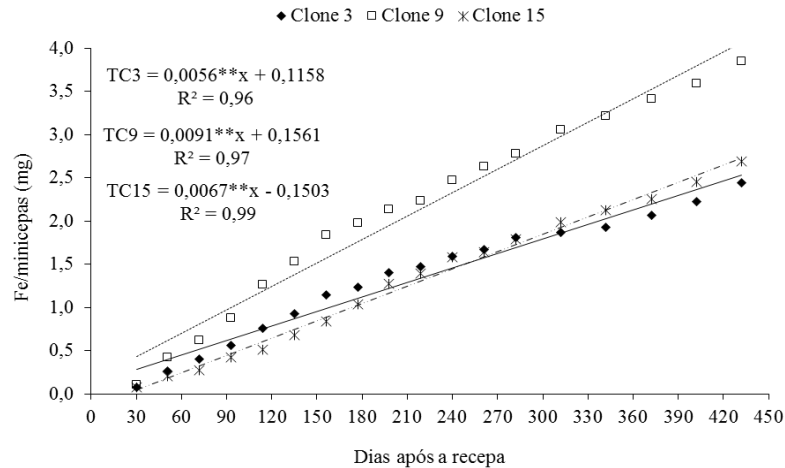


312

313
314

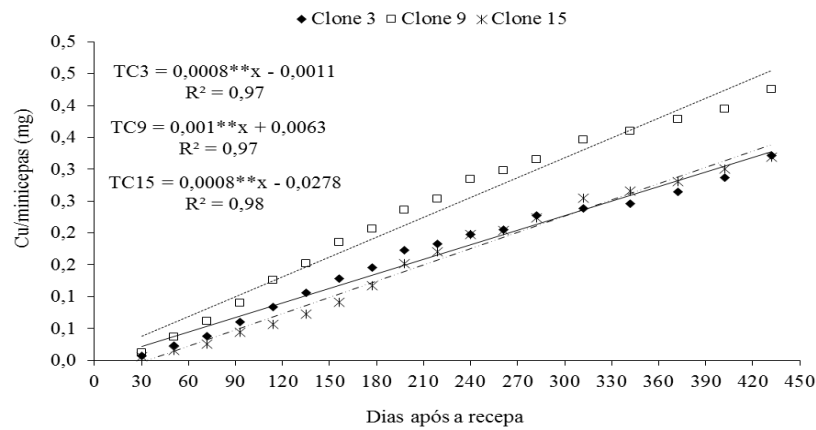
315 Figura 6: Conteúdo acumulado de cálcio, magnésio e enxofre removidos pelas brotações das
316 minicepas selecionadas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* em cada coleta do
317 minijardim. **Inclinação da reta altamente significativa. Até a 10^a coleta, os dados foram obtidos
318 por Lamônica (2013).

319 Figure 6: accumulated calcium content, magnesium and sulfur removed by the shoots of
320 ministumps selected of clones TC3, TC9 and TC15 of *Toona ciliata* in each collection of mini. **
321 Highly significant stretch of the slope. Until the 10th collection, the data were obtained by
322 Lamônica (2013).



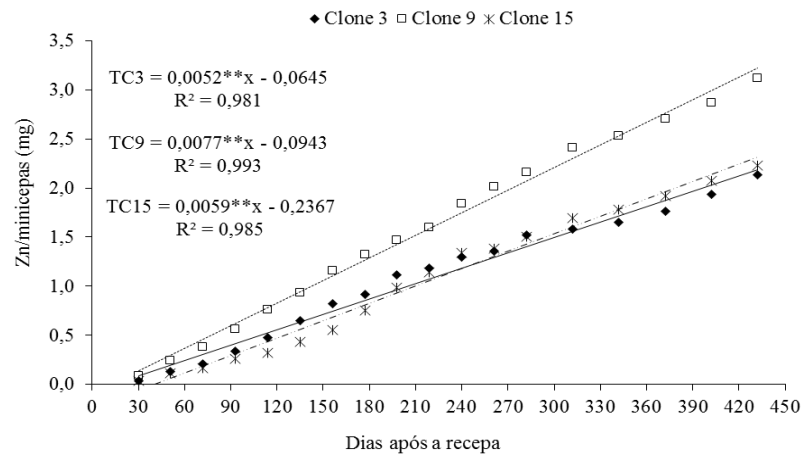
323

324



325

326

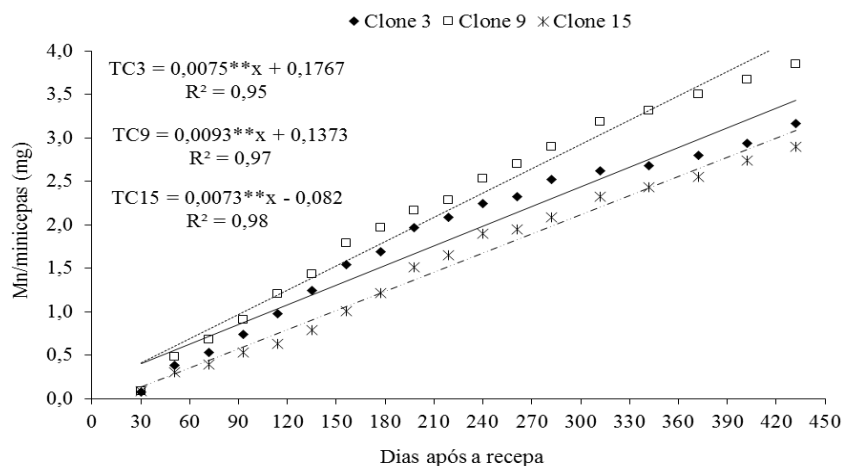


327

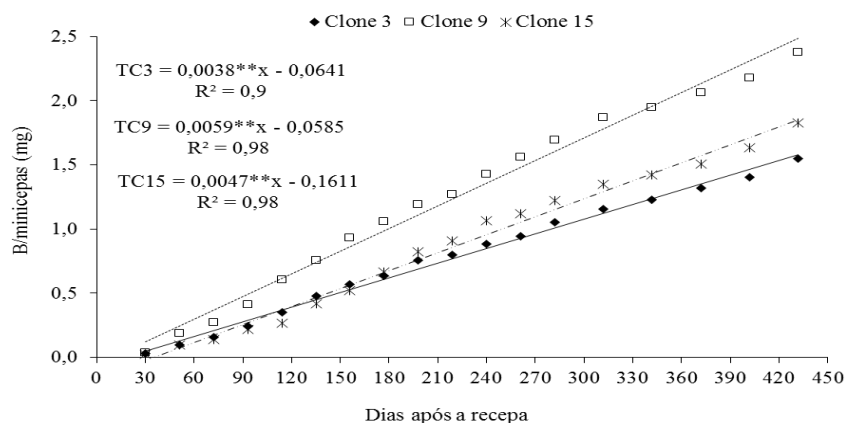
328

329 Figura 7: Conteúdo acumulado de ferro, cobre e zinco removidos pelas brotações das minicépas
 330 selecionadas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* em cada coleta do minijardim.
 331 **Inclinação da reta altamente significativa. Até a 10^a coleta, os dados foram obtidos por Lamônica
 332 (2013).

333 Figure 7: Cumulative iron content, copper and zinc removed by the shoots of ministumps selected
 334 of clones TC3, TC9 and TC15 of *Toona ciliata* in each collection of mini. ** Highly significant
 335 stretch of the slope. Until the 10th collection, the data were obtained by Lamônica (2013).



336



337

338 Figura 8: Conteúdo acumulado de manganês e boro removidos pelas brotações das minicepas
 339 selecionadas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* em cada coleta do minijardim.
 340 **Inclinação da reta altamente significativa. Até a 10ª coleta, os dados foram obtidos por Lamônica
 341 (2013).

342 Figure 8: accumulated manganese and boron content removed by the shoots of ministumps selected
 343 of clones TC3, TC9 and TC15 of *Toona ciliata* in each collection of mini. ** Highly significant
 344 stretch of the slope. Until the 10th collection, the data were obtained by Lamônica (2013).
 345
 346
 347

348 De acordo com Cunha et al. (2008b), os trabalhos envolvendo o estado nutricional de
 349 minicepas com a produção de miniestacas de *Eucalyptus* também são escassos. Os autores relatam
 350 também que a relação entre esses fatores pode contribuir para estudos futuros visando o aumento
 351 da produção de miniestacas por minicepa, bem como miniestacas melhor nutridas e,
 352 consequentemente, com maior capacidade de enraizamento.

353 Para os três clones de cedro australiano do presente estudo, a quantidade removida dos
 354 nutrientes pelas brotações das minicepas seguiu a seguinte ordem: K, N, Ca, P, Mg, S, Mn, Fe, Zn,
 355 B e Cu.

356 Segundo Dechen e Nachtigall (2007), o potássio (K) é o cátion mais abundante nas células,
 357 com concentrações superiores a 100 mmol L^{-1} . É um nutriente vital para a fotossíntese. Em
 358 situações de deficiência, ocorre redução da fotossíntese e aumento da respiração da planta,
 359 reduzindo a acumulação de carboidratos e, consequentemente, o crescimento e a produção das
 360 plantas. Contribui também com o potencial osmótico da planta, regulando o processo de abertura e
 361 fechamento dos estômatos.

362 Esses mesmos autores relatam que os teores de potássio variam entre 6 e 50 g kg^{-1} de massa
 363 seca, considerando valores entre 10 e 30 g kg^{-1} como adequados. Ao longo das coletas de
 364 brotações, os teores de potássio para os três clones estavam dentro da faixa considerada adequada
 365 por estes autores.

366 Souza et al. (2014), avaliando dois sistemas de minijardim formados a partir de mudas
 367 propagadas por sementes, conduzidos em tubetes e canaletão, verificaram que os conteúdos
 368 acumulados dos macronutrientes removidos pelas minicepas de *Toona ciliata* seguiram uma ordem
 369 semelhante à encontrada no presente estudo, diferindo apenas na ordem do potássio e nitrogênio.

370 Por outro lado, utilizando a técnica do elemento faltante em mudas de cedro australiano
 371 com 60 dias de idade, Moretti et al. (2011) constataram que as mudas cultivadas sob omissão de
 372 nutrientes apresentaram altura e diâmetro iguais ou inferiores às mudas cultivadas no tratamento
 373 completo. No entanto, os nutrientes que mais limitaram o crescimento dessa espécie são em ordem
 374 decrescente o P, N, S, Ca, K, Mg e Cu.

375 Durante a produção de miniestacas pelas minicepas são requeridas grandes quantidades de
 376 nutrientes, havendo a necessidade de reposição de forma apropriada e bem distribuída ao longo do
 377 período de cultivo. Entretanto, conforme mencionado anteriormente, o manejo da adubação do
 378 minijardim deve ser específico para cada clone, para que eles utilizem todo seu potencial genético
 379 no incremento da produtividade.

380 Para isso, deve considerar além da remoção pelas brotações, as perdas de nutrientes por
 381 lixiviação via irrigação. No estudo em questão, os nutrientes não foram lixiviados, pois o substrato
 382 utilizado e os turnos de rega adotados permitiram ausência de perda de água no sistema.

383 Nas condições em que foi conduzido esse experimento, a Tabela 2 apresenta o conteúdo de
 384 macro e micronutrientes por minicepa, utilizados no minijardim pelos clones TC3, TC9 e TC15, ao
 385 final de 432 dias de exploração, sendo respectivamente: N (1239; 1905,7 e 1410,7 mg), P (116,9;
 386 175 e 128,3 mg), K (1209; 1923,9 e 1314,3 mg), Ca (612,9; 980,6 e 753,9 mg), Mg (136,3; 175,2 e
 387 138,5 mg), S (71,5; 107,6 e 76,3 mg), Fe (5,1; 8,8 e 6,7 mg), Cu (0,5; 0,8 e 0,5 mg), Zn (4,3; 5,6 e
 388 4,5 mg), Mn (5,3; 5,7 e 5,3 mg) e B (2,4; 3,6 e 2,8 mg), porém não houve diferença estatística entre
 389 os clones.

390 O clone TC9 removeu maior conteúdo de todos os nutrientes até a 18ª coleta, porém
 391 quando foi adicionado o conteúdo dos nutrientes das minicepas, não foi observada diferença entre
 392 os clones (Figuras 5, 6, 7, 8 e Tabela 2).

393 O conteúdo total de nutrientes encontrados neste estudo poderá auxiliar em trabalhos
 394 relacionados ao manejo da adubação do cedro australiano, tanto no minijardim clonal quanto na
 395 produção de mudas.
 396
 397

Tabela 2: Conteúdo médio de macro e micronutrientes por minicepa encontrados nos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata*, ao final de 432 dias de exploração.

Table 2: Average content of macro and micronutrients by ministump found in clones TC3, TC9 and TC15 of *Toona ciliata*, at the end of 432 days of exploration.

Nutrientes	Conteúdo (mg)/minicepa					
	Clone TC3		Clone TC9		Clone TC15	
N	1239,0	A	1905,7	A	1410,7	A
P	116,9	A	175,0	A	128,3	A
K	1209,0	A	1923,9	A	1314,3	A
Ca	612,9	A	980,6	A	753,9	A
Mg	136,3	A	175,2	A	138,5	A
S	71,5	A	107,6	A	76,3	A
Fe	5,14	A	8,76	A	6,70	A
Cu	0,52	A	0,83	A	0,54	A
Zn	4,33	A	5,60	A	4,54	A
Mn	5,29	A	5,73	A	5,25	A
B	2,42	A	3,64	A	2,83	A

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

399 clonal de cedro australiano utilizando como material genético os clones TC3, TC9 e TC15, para
 400 que permaneçam em produção por 432 dias, sendo necessário computar as perdas naturais no
 401 manejo da fertilização e da irrigação. Como no presente estudo foi observada redução no número
 402 de brotações emitidas a partir da 9ª coleta, seria indicada a reposição nutricional, conforme o
 403 conteúdo exportado durante o manejo, visando o aumento da produtividade, ou sua manutenção.

404 Souza et al. (2015) verificaram que a produtividade de minicepas de cedro australiano
 405 manejadas em minijardins multiclonais em canaletão e em tubetes está relacionada com a nutrição
 406 mineral. Foi observado também, que o número de miniestacas é dependente da concentração dos
 407 nutrientes, exceto para o enxofre e o boro. Assim, a adequação dos níveis desses nutrientes nas
 408 brotações, possivelmente, favorece a produtividade.
 409

410 CONCLUSÕES

411 O clone TC3 se mostrou mais produtivo ao final de 18 coletas de brotações, havendo maior
 412 eficiência na conversão dos nutrientes absorvidos para produção de brotações e de miniestacas.

413 A partir da 9ª coleta de miniestacas é indicada a reposição de nutrientes visando manter a
 414 produtividade do minijardim sempre constante.

415 O potássio, o nitrogênio e o cálcio foram os nutrientes mais exportados pela coleta das
 416 brotações dos três clones de cedro australiano.
 417

418 AGRADECIMENTO

419 A Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
 420 (FAPERJ) pela concessão da bolsa de doutorado.
 421

422 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

423 ASSIS, T. F., FETTINI NETO, A. G., ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the
 424 clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. In: WALTERS, C., CARSON, M.
 425 (eds.) **Plantation forest biotechnology for the 21st century**. Kerala: Research Signpost, v.1,
 426 p.303-333, 2004.

427 BRONDANI, G. E. et al. Dynamics of adventitious rooting in mini-cuttings of *Eucalyptus*
 428 *benthamii* x *Eucalyptus dunnii*. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.34, n.2, p. 169-178, 2012.

429 CUNHA, A. C. M. C. M. da, WENDLING, I., SOUZA JÚNIOR, L. Produtividade e sobrevivência
 430 de minicepas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em sistema de hidroponia e em tubete.
 431 **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n.3, p. 307- 310, 2005.

432 CUNHA, A. C. M. C. M.; WENDLING, I.; SOUZA JÚNIOR, L. Miniestaquia em sistema de
 433 hidroponia e em tubetes de Corticeira-do-mato. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p.85-
 434 92, 2008a.

435 CUNHA, A. C. M. C. M. et al. Relação do estado nutricional de minicepas com o número de
 436 miniestacas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n.79, p. 203-213, 2008b.

437 DECHEN, A. R., NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS,
 438 R. F. et al. (eds) **Fertilidade do solo**. Viçosa- MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-
 439 132, 2007.

440 DIAS, P. C. et al. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa**
 441 **Florestal Brasileira**, Colombo, v.32, n.72, p.453-462, 2012.

442 FERREIRA, B. G. A. et al. Miniestaquia de *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax com o uso de ácido
 443 33 indolbutírico e ácido naftalenoacético. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n.1, p. 19-31,
 444 2010.

445 FERREIRA, D. de A. **Produtividade das minicepas de cedro australiano em minijardim**
 446 **multiclonal e influência da posição das miniestacas na qualidade das mudas**. 55f. Dissertação

- 447 (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte
 448 Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 2009.
- 449 FREITAS, A. F. **Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de híbridos de**
 450 ***Eucalyptus globulus* Labill. em resposta a N, B e Zn.** 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência
 451 Florestal) - Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa-UFV, 2013.
- 452 GATTI, K. C. et al. Propagação vegetativa de jequitibá *Cariniana estrellensis* (Raddi) por
 453 miniestaquia. **Temas Agrários**, v.16, n.2, p.54-63, 2011.
- 454 HARTMANN, H. T. **Plant propagation: principles and practices.** 7th Editon, New Jersey:
 455 Prentice-Hall, 2002. 880 p.
- 456 HIGASHI, E. N., SILVEIRA, R. L. V. A., GONÇALVES, A. N. Monitoramento nutricional e
 457 fertilização em macro, mini e microjardim clonal de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, J. L. de M.,
 458 BENEDETTI, V. (eds) **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba - SP: IPEF, 2000. p.191-217.
- 459 HIRSCH, A. M., TORREY, J. G. Ultrastructural changes in sunflower root cells in relation to
 460 boron deficiency and added auxin. **Canadian Journal of Botany**, v. 58, p. 856-866.1980.
- 461 JONES JR., J. B., WOLF, B., MILLS, H. A. (1991) **Plant analysis handbook: a practical**
 462 **sampling, preparation, analysis and interpretation guide.** Athens (USA): Micro - Macro
 463 Publishing. 213p.
- 464 LAMÔNICA, K. R. **Produtividade de minicepas de clones de cedro australiano (*Toona ciliata*)**
 465 **e produção de mudas por miniestaquia.** 76f. Tese (Doutorado em Produção vegetal) – Campos
 466 dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 2013.
- 467 MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de**
 468 **plantas: princípio e adaptações.** 2. ed. Piracicaba, SP: Potafos, 1997. 319p.
- 469 MALULEQUE, I. F. **Qualidade de mudas e produtividade de minicepas de clones de cedro**
 470 **australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*) tratadas com paclobutrazol.** 104f.
 471 Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Lavras-MG, Universidade Federal de Lavras –
 472 UFLA, 2014.
- 473 MORETTI, B. S. et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona*
 474 *ciliata*) sob omissão de nutrientes. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p.453-463, 2011.
- 475 NEUBERT, V. F. **Propagação vegetativa do vinhático (*Plathymenia foliolosa* Benth) por**
 476 **miniestaquia.** 38f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Viçosa-MG, Universidade
 477 Federal de Viçosa-UFV, 2014.
- 478 OLIVEIRA, T. P. F. et al. Productivity of polyclonal minigarden and rooting of *Handroanthus*
 479 *heptaphyllus* Mattos minicuttings. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 4, p. 2423-
 480 2432, 2015.
- 481 PEREIRA, M. O. **Resgate vegetativo e propagação via estaquia e miniestaquia de *Toona***
 482 ***ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell) Bahadur.** 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia
 483 Florestal) – Curitiba-PR, Universidade Federal do Paraná. 2014.
- 484 ROTH-BEJERANO, N., ITAI, C. Effect of boron on stomatal opening in epidermal strips of
 485 *Commelina comunis*. **Physiologia Plantarum**, v. 52, p.302-304, 1981.
- 486 SILVA, M. P. S. et al. Enraizamento de miniestacas e produtividade de minicepas de cedro
 487 australiano manejadas em canaletões e tubetes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p.703-
 488 713, 2012.
- 489 SOUZA, J. S. et al. Produtividade de minicepas de cedro australiano e remoção de nutrientes pela
 490 coleta sucessiva de miniestacas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 71, 2014.
- 491 SOUZA, J. S. et al. Produtividade de minicepas de cedro australiano em função do teor inicial de
 492 nutrientes. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 617-624, 2015.
- 493 TAVARES, R. et al. Genetic diversity in australiar cedar genotypes selected by mixed models.
 494 **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 36, n. 2, p.171-179, 2012.
- 495 XAVIER, A. et al. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. **Revista Árvore**, viçosa,
 496 v. 27, n.2, p.139-143, 2003.
- 497 WENDLING, I., FERRARI, M. P., DUTRA, L. F. **Produção de mudas de corticeira-do-mato**
 498 **por miniestaquia a partir de propágulos juvenis.** Colombo-PR. 5 p. (Comunicado Técnico),
 499 2005.

- 500 WENDLING, I., SOUZA JÚNIOR, L. Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis*
501 Saint Hilaire) por miniestaquia de material juvenil. *Congresso Sul- Americano da Erva-Mate. 3,*
502 Chapecó: Epagri, p.60, 2003.
- 503 ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola.** EMBRAPA Arroz e Feijão,
504 400 p., 2004.

4.2. PRODUÇÃO DE MUDAS POR MINIESTAQUIA DE TRÊS CLONES DE *TOONA CILIATA* VAR. AUSTRALIS

RESUMO

No sistema de miniestaquia, é importante avaliar o enraizamento e a manutenção da qualidade das mudas ao longo dos ciclos de produção, para se determinar o manejo adequado do minijardim. Objetivou-se com este estudo avaliar o enraizamento e a qualidade de mudas de três clones de *Toona ciliata* em função das coletas de miniestacas em minijardim formado a partir de matrizes adultas. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8 x 3 (coletas de miniestacas e clones), com oito repetições, sendo 10 miniestacas por parcela. Para emissão das raízes, as miniestacas foram colocadas em câmara de nebulização por 30 dias. Após esse período, as mudas foram mantidas na casa de vegetação para aclimatização e crescimento, totalizando 105 dias de cultivo. Observou-se que as mudas do clone TC9 apresentaram menor percentual de enraizamento (57%) e qualidade do sistema radicular. As mudas produzidas do clone TC15 mostraram-se mais desenvolvidas e de melhor qualidade. A partir de 342 dias de exploração do minijardim (15ª coleta) houve redução na qualidade das mudas dos três clones.

Palavras-chave: espécie florestal; qualidade de mudas e minijardim.

ABSTRACT

In minicutting system, it is important to evaluate the rooting and maintaining the quality of seedlings throughout the production cycle, to determine the appropriate management of mini. The objective of this study was to evaluate the rooting and quality of seedlings three *Toona ciliata* clones according to minicuttings collections in minigarden formed from adult mothers. The design was completely randomized in a factorial 3 x 8 (minicuttings collection and clones) with eight replications and 10 cuttings per plot. For issuance of roots, cuttings were placed in a mist chamber for 30 days. After this period, the seedlings were kept in the greenhouse for acclimatization and growth, totaling 105 days of cultivation. It was observed that the TC9 clone seedlings showed lower percentage of rooting (57%) and quality of the root system. Seedlings produced the TC15 clone were more developed and better. From 342 days of exploration minigarden (15th collection) there was a reduction in the quality of seedlings of the three clones.

Keywords: forest species; quality cutting and minigarden.

INTRODUÇÃO

A miniestaquia é a técnica de propagação vegetativa mais utilizada em escala comercial pelo setor florestal brasileiro para a produção de mudas de espécies do gênero *Eucalyptus*. Já para o cedro australiano, a utilização da miniestaquia tanto em pesquisas, quanto para produção comercial, ainda são recentes, mas com resultados positivos, mostrando-se viável o emprego desta técnica para produção comercial de mudas (Souza et al. 2009; Moraes, et al., 2014; Ferreira et al., 2012; Silva et al., 2012a; Souza et al., 2014). Em todos esses estudos, o material vegetal propagado foi proveniente de minijardim em estágio juvenil, formado a partir de mudas por sementes.

No sistema de miniestaquia, deve-se avaliar a manutenção do enraizamento e da qualidade das mudas formadas a partir de diferentes materiais genéticos, ao longo do período de exploração de miniestacas, pois estas características são importantes para se determinar o manejo adequado para cada material selecionado.

O enraizamento adventício é uma etapa essencial na propagação vegetativa, que constitui um fator limitante de utilização da técnica. Nem todos os genótipos apresentam boa emissão de raízes e formação de um sistema radicular robusto, essencial para o sucesso dos povoamentos, principalmente, em se tratando de plantas matrizes adultas. A clonagem dessas plantas permite a seleção de materiais mais produtivos e acelera o processo de melhoramento. Entretanto, pode resultar na redução da capacidade rizogênica do material vegetal a ser multiplicado, em função do aumento do conteúdo de inibidores e diminuição de cofatores (Fachinello et al. 2005).

Para algumas espécies, o uso de reguladores de crescimento é condicionante para estimular a iniciação de raízes. Já para o cedro australiano não há essa necessidade, segundo resultados obtidos por Souza et al. (2009).

A qualidade das mudas produzidas pode ser determinada utilizando-se tanto as características morfológicas, quanto as fisiológicas. As características morfológicas são as mais utilizadas e de fácil acesso por viveiristas (Eloy et al., 2013), são de fácil mensuração e de custo reduzido, devendo ser correlacionadas com avaliações fisiológicas e nutricionais. O padrão de qualidade das mudas pode ser expresso pelo índice de qualidade de Dickson (Dickson et al., 1960), que considera para o seu cálculo, a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa, com destaque para o sistema radicular (Fonseca et al., 2002).

A expedição de mudas de qualidade contribuirá para a redução de custos com o replantio, e o crescimento mais acelerado poderá contribuir para que superem a competição com as plantas daninhas mais rapidamente, promovendo a diminuição de gastos com tratamentos culturais (Figueiredo et al., 2011).

Considerando esses aspectos, mais estudos devem ser desenvolvidos com o cedro australiano, visando o aprimoramento da técnica e dos resultados já alcançados, no intuito de obter dados que viabilizem sua adoção para produção de mudas clonais de alta qualidade a partir de matrizes adultas de interesse silvicultural.

Portanto, no intuito de avaliar a existência de variação entre os clones no processo de miniestaquia e suas alterações ao longo do tempo de exploração do minijardim, este estudo se insere com o objetivo de avaliar o enraizamento e a qualidade das mudas de três clones de *Toona ciliata* var. *australis*, em sucessivas coletas de miniestacas em minijardim formado a partir de matrizes adultas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação com cobertura plástica (filme agrícola 150 μm) e sombrite 30%, da Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), localizada na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no município de Campos dos Goytacazes, RJ.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8 x 3 (coletas de miniestacas e clones), com oito repetições, com 10 miniestacas por parcela, sendo três apicais e sete intermediárias.

Como de acordo com Moraes et al. (2014) não há diferença no enraizamento entre as miniestacas apicais e intermediárias de cedro australiano, a distribuição deste número de miniestacas nas parcelas foi estabelecida de acordo com a quantidade produzida de cada uma delas pelas minicepas. A produção das mudas foi realizada mediante a coleta das brotações emitidas das minicepas dos minijardins de três clones de cedro australiano implantados em estruturas de canaletões suspensos (Lamônica, 2013). Esses clones foram originados de um povoamento implantado no segundo semestre de 2005, apresentam divergência genética e alto potencial produtivo (Tavares *et al.*, 2012).

Foram realizadas oito coletas de miniestacas, denominadas de 11^a, 12^a, 13^a, 14^a, 15^a, 16^a, 17^a e 18^a complementando estudos realizados por Lamônica (2013). Em virtude da velocidade de crescimento das brotações, até a 13^a coleta o intervalo entre elas foi de 21 dias, e nas demais, de 30 dias, sendo aos 240, 261, 282, 312, 342, 372, 402, 432 dias após a formação do minijardim.

Após as coletas, as brotações foram cortadas com 5 cm de comprimento, contendo uma folha, com um par de folíolos reduzidos em 50 % da área foliar, formando assim as miniestacas que foram estaqueadas em tubetes de 180 cm^3 , contendo substrato florestal comercial a base de casca de pinus decomposta e adubo de liberação lenta (15-09-12), na concentração de 8 g kg^{-1} de substrato.

Posteriormente, para emissão das raízes, as miniestacas foram colocadas em câmara de nebulização com cobertura plástica de polipropileno de 150 μm e telas de nylon e aluminada de 30% de sombreamento, sob nebulização intermitente, com pulverizações de 30 segundos, a cada 15 minutos, mantendo

assim, o controle da umidade para emissão de raízes adventícias.

Ao final de 30 dias de permanência na câmara de nebulização, o sistema radicular de duas mudas por parcela foi lavado com água para retirada do substrato e avaliado quanto ao percentual de enraizamento e número de raízes primárias. Para avaliação do comprimento, diâmetro e volume, as raízes foram dispostas em uma cuba de acrílico de 20 cm de largura por 30 cm de comprimento contendo água, sendo posteriormente scaneadas e analisadas através do software WinRhizo Pro (Régent Instr. Inc.), acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 com definição de 400 dpi. O peso seco de raízes foi determinado em balança analítica de precisão após 72 horas de permanência em estufa de circulação forçada a $65^{\circ}\text{C} \pm 2$.

O restante das mudas foi mantido em casa de vegetação para completar o ciclo de produção, totalizando 105 dias. Durante esse período, a irrigação das mudas foi realizada duas vezes ao dia por meio de uma mangueira de jato fino.

Ao final do ciclo de produção, foram avaliadas a altura e o diâmetro de todas as mudas que restaram, utilizando-se, respectivamente, régua e paquímetro digital, e com base nos valores médios, três mudas por parcela foram selecionadas para avaliação das raízes (comprimento, diâmetro, área de superfície e volume), conforme descrito no parágrafo anterior, além da área foliar, massa seca da parte aérea e sistema radicular.

A área foliar foi determinada utilizando o medidor de área eletrônico de bancada (LI-3000, LI-COR Inc). Em seguida, toda parte aérea e sistema radicular foram colocados separadamente em sacos de papel e secos em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C , por 72 horas, para posterior pesagem e determinação do peso seco.

A qualidade das mudas produzidas foi comparada pelo índice de qualidade de Dickson (IQD), calculado através da fórmula $\text{MST}/(\text{RHD} + \text{RMSPAR})$ (Dickson et al., 1960), onde MST, RAD e RPAR, correspondem respectivamente, à massa seca total da muda; relação entre a altura e o diâmetro; e relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes.

Antes de realizar as análises, os dados obtidos por contagem foram transformados em $\sqrt{x+1}$ e os dados de percentagem em arco-seno \sqrt{x} (Zimmermann, 2004). Os demais dados, quando não apresentaram homocedasticidade e distribuição normal comprovadas pelos testes de Cochran e

Lilliefors, foram transformados em Log (x+1). Após essas transformações, os dados foram submetidos à análise de variância e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey (5%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados apresentados na tabela 1 é possível verificar que houve interação entre os fatores clones e coletas de miniestacas, para todas as variáveis analisadas, com exceção do comprimento total do sistema radicular.

Tabela 1: Percentual de enraizamento, número de raiz primária (NRP), comprimento de raiz primária (CRP), comprimento total (CT), diâmetro médio das raízes (DMR) e massa seca das raízes (MSR) das mudas de três clones de cedro australiano (*Toona ciliata*), produzidas por miniestaquia, aos 30 dias após o estaqueamento, na saída da câmara de nebulização, em função das coletas de miniestacas.

Coletas de miniestacas	Enraizamento (%)				NRP			
	TC3	TC9	TC15	Média	TC3	TC9	TC15	Média
11 ^a	100,0 A a	62,5 B a	87,5 A a	83,3	4,6 A a	3,2 B bc	5,6 A ab	4,5
12 ^a	81,2 A ab	50,0 B a	68,8 AB a	66,6	4,3 A ab	3,3 A bc	3,8 A bc	3,8
13 ^a	68,8 A ab	68,8 A a	75,0 A a	70,8	7,9 A a	7,3 A a	8,3 A a	7,8
14 ^a	50,0 B b	50,0 B a	81,3 A a	60,4	5,1 AB ab	1,6 B c	5,0 A abc	3,9
15 ^a	56,3 B b	50,0 B a	81,3 A a	62,5	2,5 AB b	1,7 B c	3,6 A bc	2,6
16 ^a	62,5 AB b	50,0 B a	75,0 A a	62,5	4,2 A ab	3,9 A abc	2,6 A c	3,5
17 ^a	81,3 A ab	56,3 B a	81,3 A a	72,9	2,1 A b	3,4 A bc	3,1 A bc	2,9
18 ^a	50,0 B b	68,8 AB a	81,3 A a	66,6	3,8 A b	5,7 A ab	4,1 A abc	4,5
Média	68,8	57,0	80,0		4,3	3,8	4,5	
CV (%)	30,2				22,2			
	CRP (cm)				CT (cm)			
11 ^a	22,7 A ab	14,2 A a	29,0 A ab	21,9	39,8	30,6	45,3	38,6 ab
12 ^a	19,4 A abc	8,8 A ab	15,5 A abc	14,6	26,5	11,3	21,3	19,7 bc
13 ^a	33,6 A a	21,2 A a	32,9 A a	29,2	42,1	26,8	48,8	39,2 a
14 ^a	9,50 A abc	2,3 B bc	12,0 A abc	8,0	14,6	4,2	12,7	10,6 cd
15 ^a	4,70 AB c	1,4 B c	9,9 A bc	5,3	5,2	1,8	12,0	6,4 d
16 ^a	17,6 A abc	10,3 A ab	8,3 A c	12,1	35,2	16,7	15,2	22,4 abc
17 ^a	12,6 A abc	9,5 A ab	22,9 A abc	14,7	18,3	10,2	32,0	20,2 bc
18 ^a	8,40 A bc	12,9 A a	6,6 A c	9,3	7,9	16,2	6,8	10,3 cd
Média	16,0	10,1	17,0		23,7 A	14,7 B	24,3 A	
CV (%)	33,0				34,6			
	DMR (mm)				MSR (g)			
11 ^a	0,69 A abc	0,59 A c	0,60 A c	0,63	0,026 AB a	0,012 B ab	0,037 A a	0,025
12 ^a	0,61 A bc	0,62 A c	0,59 A c	0,61	0,017 A ab	0,012 A ab	0,014 A bc	0,014
13 ^a	0,64 A bc	0,75 A bc	0,65 A bc	0,68	0,029 A a	0,027 A a	0,029 A ab	0,028
14 ^a	0,83 A ab	0,89 A ab	0,98 A a	0,90	0,012 A ab	0,005 A b	0,015 A bc	0,011
15 ^a	0,55 B c	0,70 B bc	0,97 A a	0,74	0,004 A b	0,004 A b	0,012 A bc	0,007
16 ^a	0,89 A a	1,10 A a	1,04 A a	1,00	0,025 A a	0,016 A ab	0,015 A bc	0,019
17 ^a	0,77 A abc	0,87 A ab	0,89 A ab	0,85	0,013 B ab	0,012 B ab	0,028 A ab	0,018
18 ^a	0,66 B abc	1,04 A a	0,86 A ab	0,86	0,006 B b	0,022 A ab	0,006 B c	0,011
Média	0,71	0,82	0,82		0,017	0,014	0,019	
CV (%)	20,4				74,6			

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

A influência do número de coletas de miniestacas sobre os três clones de cedro australiano não seguiu um padrão de respostas nas variáveis analisadas.

Os clones apresentaram diferença no potencial de emissão de raízes adventícias. No clone TC3 houve uma variação ao longo dos ciclos, com comportamento cíclico, onde as miniestacas da 11^a coleta apresentaram maior percentual de enraizamento em relação a 14^a, 15^a, 16^a e 18^a coletas. Já os clones TC9 e TC15, não apresentaram variação.

O clone TC3 parece ter sido mais sensível que os demais com relação ao percentual de enraizamento, perdendo o vigor ao longo do tempo, o que acarretou na redução do enraizamento das miniestacas. Os fatores que podem ter influenciado na capacidade das miniestacas de emitir raízes são a falta de reposição nutricional das plantas matrizes doadoras de propágulos e a temperatura e umidade relativa proporcionadas ao enraizamento (Timm et al., 2015). Portanto, é possível que estes clones possam ter exigências diferentes em relação às quantidades de nutrientes requeridos e às condições de temperatura e umidade.

Em trabalhos realizados por Souza et al. (2009), Ferreira et al. (2012) e Silva et al. (2012a) com miniestacas de cedro australiano em estágio juvenil, foram conseguidos altos percentuais de enraizamento, entre 94 e 100%, através de três coletas sucessivas de brotações nos dois primeiros trabalhos e seis coletas para o último. A idade da planta matriz apresenta influência sobre o enraizamento de miniestacas. Normalmente, miniestacas coletadas de material com características adultas são mais difíceis de enraizar, pois segundo Fachinello et al. (2005) apresentam menor nível de cofatores e maior conteúdo de inibidores.

O clone TC9 apresentou o menor percentual de enraizamento. Segundo Mankessi et al. (2009), flutuações na capacidade rizogênica podem ocorrer mesmo entre genótipos estreitamente aparentados, devido a fatores endógenos.

Dentre as progênies de *Anadenanthera macrocarpa* estudadas por Dias et al. (2012), a progênie P12 apresenta tendência de maior enraizamento, com 90% de miniestacas enraizadas aos 32 dias após o estaqueamento.

As miniestacas do clone TC9 produziram menor número de raiz de primeira ordem, conforme classificação de Rose (1983), na 11^a, 14^a e 15^a coletas, sendo que nessas duas últimas, não houve diferença em relação ao clone TC3. Respostas semelhantes foram observadas para o comprimento das raízes

primárias (CRP), diâmetro médio (DMR) e massa seca das raízes (MSR). Observou-se na Tabela 1, que houve uma variação entre os clones ao longo das coletas, porém não houve um padrão de respostas entre eles, apresentando um comportamento cíclico, em que de maneira geral, o clone TC15 apresentou melhor qualidade das raízes formadas. (Tabela 1).

As miniestacas do clone TC9 produziram também menor comprimento total do sistema radicular (14,7cm) independente do número de coletas (Tabela 1). A mesma resposta foi observada por Lamônica (2013) até a décima coleta. O autor verificou que, em média, as mudas deste mesmo clone produziram raízes com comprimento entre 7 e 23,7 cm. Para o clone TC3, o comprimento variou de 11,5 a 47,1cm e para o clone TC15, 16,5 a 42cm.

Em estudos com miniestaquia de material juvenil de *Toona ciliata* em sistema de canaletão, Silva et al. (2012) verificaram que há aumento no vigor das mudas na expedição do setor de enraizamento ao longo de seis coletas sucessivas de miniestacas, aos 50, 86, 115, 149, 177 e 212 dias após a decepa. No presente trabalho não foi observada esta resposta, havendo variação ao longo do tempo.

Aos 105 dias após o estaqueamento foi observada interação entre os fatores apenas para a sobrevivência e altura das mudas (Tabela 2), comprimento total e comprimento das raízes finas (Tabela 3).

Tabela 2: Percentual de sobrevivência, altura, diâmetro a altura do colo (DAC), área foliar, massa seca da parte aérea (MSPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de três clones de cedro australiano (*Toona ciliata*), produzidas por miniestaquia, aos 105 dias após o estaqueamento, em função das coletas de miniestacas.

Coletas de miniestacas	Sobrevivência (%)				Altura (cm)			
	TC3	TC9	TC15	Média	TC3	TC9	TC15	Média
11 ^a	96,9 A a	82,8 B a	98,4 A a	92,7	7,7 A a	6,7 A ab	7,5 A abc	7,3
12 ^a	89,1 A ab	37,5 B cd	90,6 A a	72,4	7,2 A a	5,6 B b	6,2 AB cd	6,3
13 ^a	89,1 A ab	68,7 B ab	81,3 AB ab	79,7	5,7 A bc	5,7 A b	5,8 A d	5,7
14 ^a	84,4 A ab	64,1 B abc	85,9 A ab	78,2	6,6 A ab	6,1 A ab	6,9 A abcd	6,6
15 ^a	79,7 A bc	15,6 B d	90,6 A a	61,9	5,1 B c	7,1 A a	6,4 A bcd	6,2
16 ^a	81,3 A abc	39,1 B bcd	87,5 A a	69,3	5,7 A bc	5,6 A b	6,4 A bcd	5,9
17 ^a	59,4 A c	18,8 B d	62,5 A b	46,9	6,9 AB ab	6,0 B ab	7,8 A ab	6,9
18 ^a	87,5 A ab	65,6 B abc	89,1 A a	80,7	6,6 B ab	6,7 B ab	8,2 A a	7,2
Média	83,4	49,0	85,7		6,4	6,2	6,9	
CV (%)	19,7				14,1			
	DAC (mm)				Área foliar (cm ²)			
11 ^a	4,2	4,7	4,3	4,4 cd	315,8	225,0	279,0	273,3 a
12 ^a	4,6	5,0	4,7	4,8 bc	267,9	167,8	220,0	218,5 bc
13 ^a	4,7	5,2	5,1	5,0 ab	243,3	173,0	194,5	203,6 bcd
14 ^a	4,3	4,8	4,1	4,4 cd	300,4	190,5	229,4	240,1 ab
15 ^a	4,2	4,4	4,8	4,5 cd	139,0	119,3	148,8	135,7 e
16 ^a	5,1	5,8	5,3	5,4 a	168,5	155,5	180,0	168,0 cde
17 ^a	4,0	4,3	4,4	4,2 d	166,5	119,2	204,5	163,4 de
18 ^a	4,0	4,3	4,3	4,2 d	174,3	172,1	212,9	186,4 bcde
Média	4,4 B	4,8 A	4,6 A		222,0 A	165,3 B	208,6 A	
CV (%)	9,9				30,9			
	MSPA (g)				IQD			
11 ^a	1,67	1,43	1,67	1,59 a	0,46	0,40	0,56	0,47 ab
12 ^a	1,51	1,04	1,59	1,38 ab	0,59	0,40	0,65	0,55 a
13 ^a	1,55	1,25	1,40	1,40 ab	0,58	0,43	0,61	0,54 a
14 ^a	1,73	1,25	1,63	1,54 a	0,46	0,40	0,49	0,45 abc
15 ^a	0,76	0,74	1,05	0,85 c	0,27	0,19	0,43	0,30 d
16 ^a	0,98	1,01	1,24	1,08 bc	0,33	0,28	0,48	0,36 cd
17 ^a	1,05	0,79	1,45	1,10 bc	0,33	0,21	0,47	0,34 d
18 ^a	1,01	1,16	1,50	1,22 ab	0,32	0,35	0,48	0,38 bcd
Média	1,28 A	1,08 B	1,44 A		0,42 B	0,33 C	0,52 A	
CV(%)	32,8				29,1			

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 3: Comprimento de raiz total (CRT) e até 2mm de diâmetro (CR \varnothing 0-2mm), diâmetro médio de raiz (DMR), volume de raiz (VR), área superficial de raiz (ASR) e massa seca de raiz das mudas de três clones de cedro australiano (*Toona ciliata*), produzidas por miniestaquia, aos 105 dias após o estaqueamento, em função das coletas de miniestacas.

Coletas de miniestacas	CRT (cm)				CR \varnothing 0-2mm (cm)			
	TC3	TC9	TC15	Média	TC3	TC9	TC15	Média
11 ^a	685,9 B a	753,8 B a	1234,9 A ab	891,5	677,3 B a	735,4 B a	1209,1 A a	873,9
12 ^a	1027,8 A a	828,2 A a	1061,3 A ab	972,4	1013,2 A a	808,6 A a	1038,4 A a	953,4
13 ^a	916,6 A a	847,6 A a	931,5 A b	898,6	896,1 A a	831,9 A a	905,0 A a	877,7
14 ^a	1103,1 A a	860,0 A a	1136,1 A ab	1033,1	1081,8 A a	843,3 A a	1108,1 A a	1011,1
15 ^a	813,5 B a	522,7 B a	1378,3 A a	904,9	808,8 B a	518,9 B a	1317,0 A a	881,6
16 ^a	907,0 AB a	575,0 B a	1008,8 A ab	830,3	896,4 AB a	564,9 B a	994,3 A a	818,5
17 ^a	849,0 AB a	559,8 B a	1075,1 A ab	828,0	841,6 AB a	554,7 B a	1059,6 A a	818,6
18 ^a	678,2 AB a	651,1 B a	1011,5 A ab	780,3	669,4 AB a	641,7 B a	997,0 A a	769,3
Média	872,7	699,8	1104,7		860,6	687,4	1078,6	
CV(%)	32,4				32,7			
	DMR (mm)				VR (cm ³)			
11 ^a	2,0	2,5	2,6	2,4 a	1,6	2,7	4,5	2,9 abc
12 ^a	2,4	2,3	2,6	2,4 a	3,0	3,1	4,0	3,3 ab
13 ^a	2,4	2,3	2,7	2,5 a	3,1	2,6	3,8	3,2 abc
14 ^a	2,4	2,4	2,5	2,4 a	3,5	3,0	4,1	3,5 a
15 ^a	1,5	1,4	1,9	1,6 b	1,9	1,0	3,5	2,1 c
16 ^a	0,7	0,6	0,9	0,8 c	2,5	1,7	2,8	2,3 bc
17 ^a	0,6	0,6	0,6	0,6 c	2,1	1,5	3,3	2,3 bc
18 ^a	0,6	0,6	0,6	0,6 c	2,0	1,8	3,2	2,4 bc
Média	1,6 B	1,6 B	1,8 A		2,5 B	2,2 B	3,7 A	
CV (%)	24,8				47,2			
	ASR (cm ²)				MSR(g)			
11 ^a	29,7	43,5	66,9	46,7 c	0,58	0,46	0,71	0,58 ab
12 ^a	191,6	174,6	221,7	196,0 ab	0,73	0,43	0,75	0,64 a
13 ^a	186,6	162,7	206,7	185,4 ab	0,65	0,45	0,68	0,59 a
14 ^a	214,4	178,1	238,9	210,5 a	0,54	0,46	0,61	0,54 ab
15 ^a	138,0	81,1	244,2	154,4 b	0,30	0,22	0,48	0,33 c
16 ^a	168,2	109,3	187,5	155,0 b	0,36	0,29	0,53	0,39 c
17 ^a	149,9	100,7	211,0	153,9 b	0,41	0,23	0,58	0,41 c
18 ^a	130,6	121,6	202,6	151,6 b	0,38	0,40	0,59	0,46 bc
Média	151,2 B	121,5 C	197,4 A		0,49 B	0,37 C	0,61 A	
CV (%)	39,2				29,1			

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

O percentual de sobrevivência das mudas foi avaliado ao final do ciclo de produção em casa de vegetação. De forma geral, as mudas do clone TC9 apresentaram a menor sobrevivência (15,6 a 82,8%) e os menores valores das características biométricas avaliadas na parte aérea e no sistema radicular, o inverso foi observado para as mudas do clone TC15.

Porém, quanto às coletas, não foi observado um padrão de resposta entre os clones (Tabela 2). A drástica redução na sobrevivência, observada nas mudas da 15^a e da 17^a coleta pode ser atribuída às maiores amplitudes térmicas registradas dentro da casa de vegetação nos meses de produção das mesmas. As mudas do clone TC9 foram mais sensíveis a essa variação.

Normalmente, é aceitável nos viveiros comerciais de mudas florestais uma taxa de sobrevivência entre 80 a 100%. Levando em consideração esta informação, apenas as mudas dos clones TC3 e TC15 estão dentro desta faixa, com exceção das mudas advindas da 17ª coleta.

Quanto à altura da parte aérea, as mudas do clone TC9 oriundas da 12ª, 17ª e 18ª coletas apresentaram menores valores. No entanto, nas duas últimas não houve diferença do clone TC3.

Comparando esses resultados com os encontrados por Lamônica (2013), verifica-se que até a décima coleta, as mudas apresentaram, de maneira geral, maior crescimento em altura, e a partir da 11ª coleta este crescimento se mostrou mais lento. Essa reposta pode estar associada à temperatura, luminosidade e época do ano. Mesmo assim, o crescimento em altura das mudas foi bem menor do que os encontrados por Silva et al. (2016), estudando a miniestaquia do cedro australiano com mudas oriundas de minijardim com características juvenil. Estes autores encontraram, em média, altura de 17,2 cm. Possivelmente, a idade fisiológica da planta matriz tenha sido o fator de influência no resultado.

Mediante a análise em conjunto do diâmetro do colo, da área foliar e da massa seca da parte aérea, observa-se que as mudas formadas do clone TC3 apresentaram menor diâmetro do colo (4,4 mm), porém com maior área foliar (222 cm²) e biomassa seca (1,3 g) não diferindo das mudas do clone TC15. A 11ª coleta realizada aos 240 dias de exploração do minijardim resultou em mudas com maior crescimento da parte aérea (área foliar e massa seca) em comparação com as mudas produzidas na 15ª coleta, aos 342 dias.

De acordo com Vilela e Stehling (2012), as mudas de cedro australiano estão aptas para serem plantadas em campo quando apresentarem pelo menos 3 mm de diâmetro. Dessa forma, com base nesta informação, as mudas de todos os clones estariam aptas para plantio. Porém, devido aos reduzidos valores da altura das mudas, acredita-se que seja necessário prolongar o ciclo de produção ou fazer alteração no manejo de luz, densidade e nutricional.

A qualidade das mudas dos três clones expressa pelo índice de qualidade de Dickson (IQD) sofreu reduções a partir da 15ª coleta, aos 342 dias de exploração do minijardim. As mudas do clone TC15 apresentaram maior índice de qualidade, com média 0,5.

Barros (2015) visando o revigoramento destes mesmos clones, observou que as mudas do clone TC15 também exibiram maior IQD no primeiro subcultivo. A determinação desse índice pode direcionar o produtor na adequação de manejo necessário em cada lote.

A utilização de mudas de alta qualidade resulta em melhor desempenho do crescimento pós-plantio, o que reduz o número de tratos culturais, as taxas de mortalidade e, conseqüentemente, há menor necessidade de replantio, contribuindo para a redução dos custos de produção (Rudek et al. 2013).

De maneira geral, observa-se na Tabela 3 que o sistema radicular das mudas do clone TC15 apresentou maior comprimento total (CTR) e comprimento de raízes finas (CR \varnothing 0-2mm). Foi observado também que as coletas não exerceram influência sobre essas variáveis, exceto para o clone TC15, onde as mudas originadas da 15ª coleta formaram maior comprimento total das raízes quando comparado com a 13ª coleta, aos 282 dias de exploração do minijardim. As mudas do clone TC15 produziram sistema radicular mais robusto, o que pode ser comprovado por todas as características avaliadas.

A eficiência do sistema radicular em absorver água e nutrientes refletirá no crescimento da parte aérea das plantas (Kozlowski e Pallardy, 1997). Por isso, é importante que os clones selecionados apresentem ótimo enraizamento e sistema radicular robusto, para que as mudas quando implantadas em campo tenham melhores condições de superar o estresse ambiental, além de permitir obter elevados ganhos em produtividade.

Segundo McCrady e Comerford (1998), vários trabalhos demonstram que a quantidade de raízes finas ou a sua área superficial são as características da planta mais importantes para determinar a quantidade de nutrientes absorvidos, embora certa porção de alguns nutrientes, como o P e K, possa ser também absorvida por raízes lenhosas.

CONCLUSÃO

As mudas do clone TC9 apresentaram menor percentual de enraizamento e qualidade do sistema radicular.

As mudas produzidas do clone TC15 mostraram-se mais desenvolvidas e de melhor qualidade.

A partir de 342 dias de exploração do minijardim (15ª coleta) houve redução na qualidade das mudas dos três clones.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, T. C. Revigoração de clones de *Toona ciliata* var. *australis* por miniestaquia. 2015. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ. 78p.
- Dias, P. C., Oliveira, L. S., Xavier, A., Wendling, I. (2012) Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 32, n. 72, p. 453-462.
- Dickson, A., Leaf, A. L., Hosner, J. F. (1960) Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, 36: 10-13.
- Eloy, E., Caron, B. O., Schmidt, D., Behling, A., Schwers, L., Elli, E. F. (2013) Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. *Floresta*, Curitiba, 43 (3): 373-384.
- Fachinello, J. C.; Hoffmann, A.; Natchigal, J. C. (2005) *Propagação de plantas frutíferas*. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 221p.
- Ferreira, D. A., Barroso, D. G., Silva, M. P. S., Souza, J. S., Freitas, T. A. S., Carneiro, J. G. A. (2012) Influência da posição das miniestacas na qualidade de mudas de cedro australiano e no seu desempenho inicial no pós-plantio. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 22 (4): 715-723.
- 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*. Viçosa, 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*, Viçosa, 26 (4): 515-523.

Kozlowski, T. T., Pallardy, S. G. (1997) *Physiology of woody plants*. 2^a ed. Academic Press, San Diego.

Lamônica, K. R. (2013) *Produtividade de minicepas de clones de cedro australiano (Toona ciliata) e produção de mudas por miniestaquia*. Tese (Doutorado em Produção vegetal) – Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 76p.

Mankessi, F., Saya, A., Baptiste, C., Nourissier, S., Monteuis, O. (2009) *In vitro* rooting of genetically related *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* clones in relation to the time spent in culture. *Trees*, 23 (5): 931-940.

McCrary, R. L., Comerford, N. B. (1998) Morphological and anatomical relationships of loblolly pine fine roots. *Trees*, 12: 431-437.

Moraes, D. G., Barroso, D. G., Figueiredo, F. A. M. M., Silva, T. R. C., Freitas, T. A. S. (2014) Enraizamento de miniestacas caulinares e foliares juvenis de *Toona ciliata* M. Roemer. *Magistra*, Cruz das Almas, 26 (1): 47-54.

Rose, D. A. (1983) The description of the growth of root systems. *Plant and Soil*, 75: 405-415.

Rudek, A., Garcia, F. A. O., Peres, F. S. B. (2013) Avaliação da qualidade de mudas de eucalipto pela mensuração da área foliar com o uso de imagens digitais. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, 9 (17): 3775-3787.

Silva, M. P. S., Barroso, D. G., Souza, J. S., Ferreira, D. A., Carneiro, J. G. A. (2012) Enraizamento de miniestacas e produtividade de minicepas de cedro australiano manejadas em canaletões e tubetes. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 22 (4): 703-713.

Silva, M. P. S., Barroso, D. G., Souza, J. S., Ferreira, D. A., Oliveira, T. P. F., Lamônica, K. R., Marinho, C. S. (2016) Growth and quality of Australian cedar saplings originated from different multiclonal minigarden systems. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 37 (3): 1127-1134.

- Souza, J. C. A. V., Barroso, D. G., Carneiro, J. G. A., Teixeira, S. L., Balbinot, E. (2009) Propagação vegetativa de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) por miniestaquia. *Revista Árvore*, Viçosa, 33 (2): 205-213.
- Souza, J. S., Barroso, D. G., Silva, M. P. S., Ferreira, D. A., Gravina, G. A., Carneiro, J. G. A. (2014). Produtividade de minicepas de cedro australiano e remoção de nutrientes pela coleta sucessiva de miniestacas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 24 (1): 71-77.
- Tavares, R., Viana, A. P., Barroso, D. B., Amaral, J. (2012) Genetic diversity in australian cedar genotypes selected by mixed models. *Ciência Agrotecnica*, Lavras, 36 (2): 171-179.
- Timm, C. R. F.; Schuch, M. W.; Tomaz, Z. F. P.; Mayer, N. A. (2015) Enraizamento de miniestacas herbáceas de porta-enxertos de pessegueiro sob efeito de ácido indolbutírico. *Semina*, Londrina, 36 (1):135-140.
- Vilela, E. S., Stehling, E. de C. (2012) Recomendações de plantio para Cedro Australiano. Apostila de recomendações da Bela Vista Florestal. Disponível em: http://www.belavistaflorestal.com.br/informativos_e_documentos.php. Acesso em: novembro de 2015.
- Zimmermann, F. J. P. (2004) *Estatística aplicada à pesquisa agrícola*. EMBRAPA Arroz e Feijão, 400 p.

4.3. TROCAS GASOSAS, CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DAS RAÍZES E CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIIS E SEMINÍFERAS DE *TOONA CILIATA* VAR. *AUSTRALIS*

RESUMO:

Plantios florestais estabelecidos com mudas propagadas por semente apresentam heterogeneidade e dificuldade no manejo, portanto, uma alternativa é o uso de mudas clonais com alta produtividade. Além disso, as mudas clonais apresentam diferenças na estrutura do sistema radicular, o que pode, influenciar a eficiência de absorção de água e nutrientes e, por consequência, a produtividade. O objetivo deste trabalho foi avaliar as trocas gasosas, a condutividade hidráulica das raízes, a eficiência no uso da água e o crescimento de mudas clonais e seminíferas de *Toona ciliata*. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos: a) clone TC3; b) clone TC9; c) clone TC15 e d) mudas seminíferas, com cinco repetições e dez plantas por parcela. Aos 120 dias foram avaliadas a taxa fotossintética líquida, transpiração e condutância estomática entre 12 e 13 horas. A condutividade hidráulica da raiz (K_{raiz}) foi determinada aplicando-se pressões crescentes (0,1; 0,2; 0,3; e 0,4 MPa). Também foram determinados o índice SPAD, clorofila a, b e total, carotenoides, altura, diâmetro do colo, área foliar, massa seca da parte aérea e raiz, comprimento, diâmetro, área superficial e volume radicular. Os dados foram submetidos à correlação de Pearson e análise de variância, comparando as diferenças pelo teste de Tukey (5%). A condutividade hidráulica das raízes não

diferiu entre os materiais genéticos. Os três clones apresentaram maior controle da perda de água através das folhas. O clone TC15 apresentou um sistema radicular semelhante aos clones TC3 e TC9, porém foi mais desenvolvido do que as mudas propagadas por sementes. O clone TC9 resultou em mudas com maior controle estomático e conseqüentemente maior eficiência intrínseca do uso da água.

Palavras-chave: tolerância à seca, fotossíntese, sistema radicular, produção de mudas.

ABSTRACT:

Forest plantations established with seedlings have heterogeneity and difficulties in management, so an alternative is the use of clonal with high productivity. In addition, clonal plants differ in the structure of the root system, which can influence the water and nutrient uptake efficiency and therefore productivity. The objective of this study was to evaluate the gas exchange, hydraulic conductivity of the roots, efficiency in water use and growth of cutting and seedlings of *Toona ciliata*. The experiment was conducted in a completely randomized design with four treatments: a) clone TC3; b) Clone TC9; c) TC15 clone and d) seedlings with five replications and ten plants per plot. 120 days were evaluated the net photosynthetic rate, transpiration and stomatal conductance between 12 and 13 hours. The hydraulic conductivity of the root (K_{raiz}) was determined by applying increasing pressure (0.1, 0.2, 0.3, and 0.4 MPa). Were also determined the SPAD, chlorophyll a, b and total carotenoids, height, stem diameter, leaf area, dry weight of shoot and root length, diameter, surface area and root volume. The data were submitted to Pearson correlation and analysis of variance, comparing the differences by the Tukey test (5%). The hydraulic conductivity of the roots did not differ between the genetic material. The three clones had greater control of water loss through the leaves. The TC15 clone presented a root system similar to TC3 and TC9 clones, but was more developed than the seedlings. The TC9 clone resulted in plants with higher stomatal control and consequently greater intrinsic efficiency of water use.

Keywords: drought tolerance, photosynthesis, root system, plant propagation.

INTRODUÇÃO

O sucesso das plantações florestais depende, entre outros fatores, da capacidade fotossintética e da utilização eficiente da água, considerando as condições ambientais de estabelecimento da planta. Nesses ambientes, as plantas podem estar submetidas a diferentes tipos de estresse, incluindo alta intensidade de luz, alta temperatura e baixa disponibilidade de água.

Neste contexto, a seleção de genótipos que possam apresentar maiores taxas fotossintéticas e/ou menores perdas através do processo respiratório sob estas condições de estresse ambiental é de grande importância. No entanto, a maioria das pesquisas ainda utiliza apenas características biométricas na seleção e determinação da qualidade das mudas produzidas, uma vez que estas características são de fácil mensuração e de custo reduzido.

Para a espécie *Toona ciliata*, as plantações existentes no Brasil são quase totalmente implantadas a partir de mudas propagadas por sementes. No entanto, devido às dificuldades de manejo no povoamento heterogêneo e à busca por genótipos altamente produtivos e de rápido crescimento, a implantação de florestas a partir de mudas clonais tem sido uma alternativa viável e tem ganhado espaço entre os produtores.

O sistema radicular das plantas desempenha diversas funções, incluindo sustentação mecânica, absorção de água e nutrientes do solo, armazenamento de nutrientes e síntese de reguladores de crescimento (Fitter, 1991; Gregory, 1994). A eficiência do sistema radicular em absorver água e nutrientes afeta fortemente o crescimento da parte aérea das plantas (Koslowski & Pallardy, 1997). Este crescimento é o resultado da diferença entre os ganhos de carbono através da fotossíntese e as perdas por meio da respiração (Atkin et al., 2007). Para explicar os processos ecofisiológicos, principalmente os relacionados com a nutrição mineral e balanço hídrico das árvores, estudos destinados a arquitetura do sistema radicular são de fundamental importância (Gonçalves e Mello, 2005).

As mudas clonais e as propagadas por sementes apresentam diferenças em seus sistemas radiculares. Nas mudas propagadas por sementes, o sistema radicular é pivotante, com uma raiz primária extremamente desenvolvida com ramificações ou raízes laterais (Raven et al., 2014). Por outro lado, o sistema radicular formado a partir de mudas clonais é adventício, ou seja, as raízes são induzidas a se formarem em um local diferente daquele onde se forma no curso

normal do desenvolvimento, podendo ser a partir do caule ou, em alguns casos, das folhas. Para *Toona ciliata* ainda não está claro se essas diferenças de origem das raízes resultam em diferenças no comportamento radicular.

O transporte de água na planta a partir do solo, raízes, caule e folhas até a atmosfera é regulado pela condutividade hidráulica (K) de cada parte envolvida no sistema. Em outras palavras, quanto mais fácil a passagem de água pelas membranas das células (aquaporinas), pelo xilema e pelas paredes celulares, maior será a condutividade. Portanto, quaisquer alterações que diminuem o valor de K especialmente nas primeiras etapas do sistema solo-planta-atmosfera (por exemplo, raiz) aumentarão a tensão na planta e diminuirão as trocas gasosas da folha (Hubbard et al., 1999; Maurel et al., 2010; Tyree e Ewers, 1991) resultando em efeitos negativos sobre o crescimento e a produtividade.

Alguns fatores influenciam a condutividade hidráulica da raiz (K_{raiz}), tais como as características anatômicas do xilema (Tombesi et al., 2009), a área de superfície radicular (Solari et al. 2006), o confinamento e a deformação da raiz (Figueiredo et al., 2014a), e estresses abióticos (Boursiac et al., 2008).

Diferenças na K_{raiz} podem apresentar grandes efeitos sobre a eficiência do uso da água na planta (EUA). Por exemplo, em plantas de soja, sorgo e milho, a capacidade de conservação da água no tecido está relacionada com a restrição da transpiração em um ambiente de alta demanda evaporativa do ar (valores elevados de DPV_{ar}) (Gholipour et al, 2010; Kholova et al, 2010; Gilbert et al, 2011). Esta capacidade de conservação de água na parte aérea está relacionada com a baixa condutividade hidráulica na planta que limita o fluxo de água para as células estomáticas, o que reduz a pressão de turgescência das células e promove o fechamento estomático. A limitação da condutividade hidráulica em condição de elevado DPV_{ar} está localizada nas raízes e/ou folhas.

Sinclair et al (2008) demonstraram que em um genótipo específico de soja, a limitação da condutividade hidráulica foi localizada entre o xilema das folhas e as células guarda. De acordo com Boyer (1985), a resistência hidráulica ao fluxo de água da raiz através da planta inteira é maior do que a resistência da parte aérea.

Conjectura-se que mudas clonais possam apresentar maior K_{raiz} , possivelmente por apresentarem maior volume das raízes e quantidade de raízes finas. Esta maior K_{raiz} pode elevar as trocas gasosas ao meio-dia e

consequentemente incrementar o crescimento da parte aérea e a produtividade da planta. O objetivo deste estudo foi avaliar essa hipótese através de avaliações de trocas gasosas ao meio-dia, a condutividade hidráulica do sistema radicular (K_{root}), a eficiência no uso da água e o crescimento de mudas clonais e propagadas por sementes de *Toona ciliata* var. australis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Condições de cultivo

O estudo foi realizado em casa de vegetação da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro (RJ) (21°44'47 "S e 41°18'24" W), Brasil.

Os tratamentos foram constituídos por mudas produzidas por miniestaquia, sendo os clones TC3, TC9 e TC15 e mudas provenientes de sementes. As sementes utilizadas foram adquiridas da empresa Caiçara Comércio de Sementes Ltda, localizada em Brejo Alegre, SP, provenientes de Área de Produção de Sementes (APS), localizada em Venda Nova do Imigrante-ES, Brasil (20°20'23 "S e 41°08'05 "W). Para tanto, duas sementes foram colocadas nos tubetes plásticos de 280 cm³ contendo substrato florestal comercial a base de casca de pinus decomposta, e foram mantidas em casa de vegetação com cobertura plástica (filme agrícola 150 µm) e sombrite 30%. Quando as plântulas apresentaram dois pares de folhas, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma plântula por tubete.

No dia da sementeira, as miniestacas dos três clones foram estaqueadas em tubetes plásticos de 280 cm³ com o mesmo substrato utilizado na propagação das mudas provenientes de sementes e permaneceram na câmara de nebulização por trinta dias até o enraizamento. Após este período, as miniestacas completaram o ciclo de produção em casa de vegetação, com cobertura plástica (filme agrícola 150 µm) e sombrite 30%. As variáveis microclimáticas (temperatura, umidade relativa e DPV_{ar}) da casa de vegetação foram monitoradas a cada 1h, por meio de sensores automáticos de coleta de dados modelo (Data Logger) (Extech Instruments, EUA) (Figura 1). A tabela 1 representa as variáveis

microclimáticas da casa de vegetação no momento das avaliações das trocas gasosas.

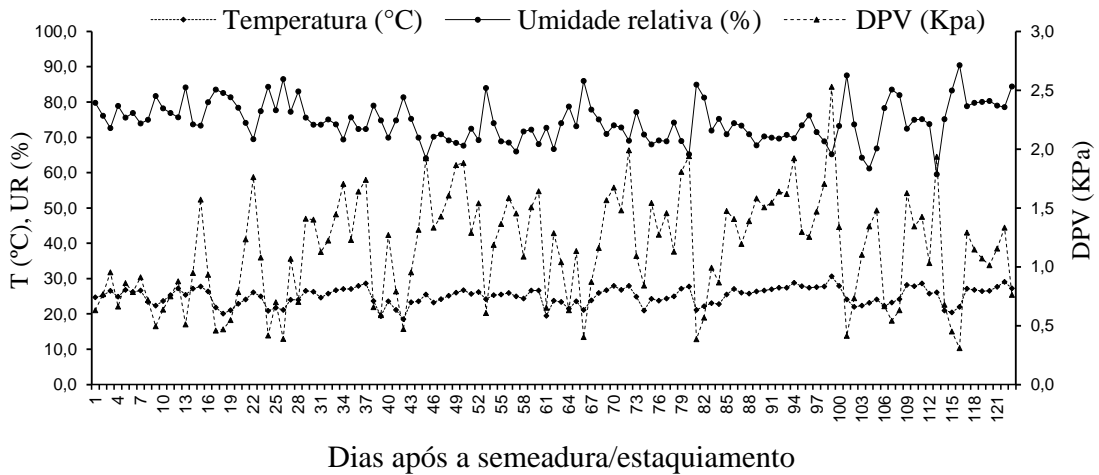


Figura 1: Dados médios diários de temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) em KPa.

Tabela 1: Dados de temperatura (°C), umidade relativa (%) e DPV (Kpa), nos horários de avaliação (12:00 e 13:00) das mudas de três clones (TC3, TC9 e TC15) e mudas seminíferas de cedro australiano (*Toona ciliata*) aos 120 dias.

Horários	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	DPV (KPa)
12:00	37,4	59,9	2,57
13:00	35,7	62,1	2,22

Aos 120 dias, final do período de formação das mudas, foram avaliadas taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática, índice SPAD, teor de clorofila a, b e total, carotenoides, eficiência instantânea e intrínseca do uso da água e a condutividade hidráulica das raízes. Neste dia, as mudas também foram avaliadas quanto a altura, diâmetro do colo, área foliar, matéria seca da parte aérea e radicular, comprimento, diâmetro, área e volume das raízes.

Trocas gasosas

A taxa fotossintética (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s), foram determinadas por meio do analisador de gás a infravermelho (IRGA), modelo Li-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). A intensidade luminosa de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi utilizada em 6 cm^2 da superfície da folha, usando um sistema de iluminação artificial composto por uma mistura de diodos vermelho e azul emissores de luz, acoplado ao equipamento. As medidas foram realizadas em uma folha plenamente expandida, no terceiro par contado a partir do ápice da planta, no horário de maior demanda hídrica e estresse, entre 12:00 e 13:00 horas, em casa de vegetação. Os dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e DPV_{ar} (kPa) dentro da câmara do analisador de gás a infravermelho, durante as avaliações foram $36,8 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $26,1 \pm 2\%$ e $4,4 \pm 1 \text{ kPa}$, respectivamente.

Índice SPAD

A intensidade de verde foi estimada por meio do medidor portátil de clorofila modelo SPAD – 502 “*Soil Plant Analyser Development*” (Minolta Company, Japan), a partir da leitura da coloração das mesmas folhas utilizadas para determinar as trocas gasosas. Para tanto, foram realizadas três leituras em cada folha.

Teores de Clorofilas (a, b e total) e carotenoides

Após as avaliações de trocas gasosas e da intensidade de verde, nas mesmas folhas, foi efetuada a determinação dos pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b* e total e carotenoides), de acordo com a metodologia descrita por Wellburn (1994). Em cada muda, foram retirados seis discos de folhas com $0,6 \text{ cm}$ de diâmetro e colocados em tubos de ensaio, contendo 4 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) como solvente orgânico, recobertos com papel alumínio e mantidos no escuro por 24 horas, para evitar a degradação dos pigmentos pela ação da luz durante o período de extração. Após este período, o extrato foi analisado em

espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 480, 649 e 665 nm. A razão clorofila *a/b* e clorofila total/carotenoides foram calculadas.

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

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

Condutividade hidráulica do sistema radicular

A condutividade hidráulica da raiz (K_{raiz}) foi determinada mensurando o fluxo, em seu estado estacionário, em quatro pressões. Cada muda foi retirada do tubete e colocada, com todo o sistema radicular, em outro recipiente contendo água e em seguida, a parte aérea foi cortada. O sistema radicular imerso em água foi imediatamente inserido em uma câmara de pressão (modelo Soil Moisture, Califórnia, EUA). Pressões positivas foram aplicadas a 0,1, 0,2, 0,3, e 0,4 MPa. A cada pressão aplicada, a seiva do caule foi recolhida e pesada em uma balança analítica de precisão (Tyree, 2003). As curvas de fluxo de pressão foram construídas e a K_{raiz} foi determinada mediante a inclinação da regressão linear. A K_{raiz} foi normalizada e expressa por unidade de peso seco, volume total e volume de raízes com um diâmetro inferior a 2 mm, por área de superfície total e por área da superfície das raízes com um diâmetro inferior a 2 mm (Figuras 2 e 3).

Características biométricas

A altura e o diâmetro do caule das mudas foram medidos usando uma régua e um paquímetro digital, respectivamente. A área da folha foi determinada utilizando o medidor de área foliar (modelo LI-3000, LI-COR Inc, EUA). Para avaliar o sistema radicular, as raízes foram lavadas com água, usando peneiras para reter as raízes. Após a lavagem, as raízes foram colocadas em uma cuba de acrílico de 20 cm de largura e 30 cm de comprimento, contendo água destilada, e

foram analisadas quanto ao comprimento, diâmetro, área e volume de raízes, utilizando o software WinRhizo Pro 2007a (Régent Instr . CNC.), conectado a um scanner profissional Epson XL 10000 com uma resolução de 400 dpis.

Para determinar a massa seca da parte aérea, as folhas e os caules foram colocados, em sacos de papel pardo, inseridos em estufa de circulação de ar forçada a $65\text{ °C} \pm 2$ por 72 horas, para posteriormente ser pesados em uma balança analítica. Para determinar a massa seca do sistema radicular, as raízes também foram colocadas em sacos de papel pardo e realizado o mesmo procedimento.

Delineamento experimental

O experimento foi implantado em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com cinco repetições, contendo dez plantas por parcela.

Os dados foram analisados por meio da correlação de Pearson e análise de variância e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey (5%). Os dados quantitativos do fluxo de água foram submetidos à análise de regressão em função da pressão aplicada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o modelo típico da relação entre a pressão aplicada e o fluxo de água no sistema radicular em mudas de cedro australiano. Observa-se que o fluxo aumenta linearmente com a pressão aplicada, conforme descrito em Knipfer e Steudle (2008) e Knipfer e Fricke (2011).

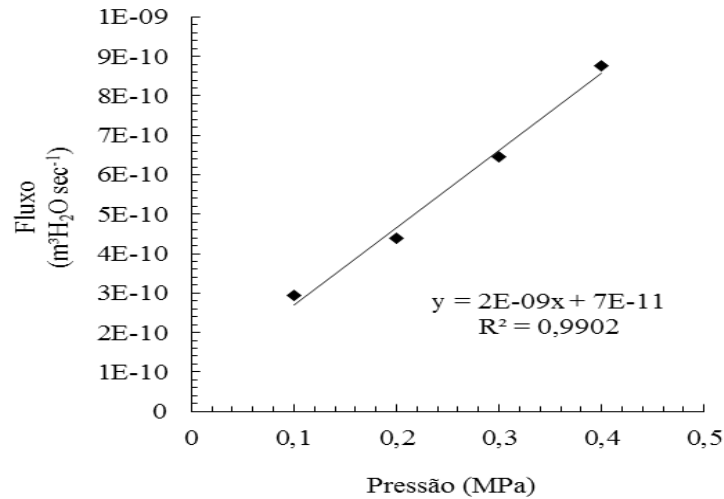


Figura 2: Exemplo de uma relação de fluxo linear de pressão em um sistema radicular de *Toona ciliata*.

Apesar de não ter sido verificada diferença significativa para a condutividade hidráulica da raiz (K_{raiz}) normalizada em massa seca da raiz (Figura 3a), volume do sistema de raiz (Figura 3b), volume de raízes finas (Figura 3c), área de superfície radicular (Figura 3d), área de superfície de raízes finas (Figura 3e) e não normalizada (Figura 3f), o clone TC3 mostrou um incremento de 24,0%, 34,2% e 20,6% em relação ao TC9, TC15 e ao material propagado por semente, respectivamente.

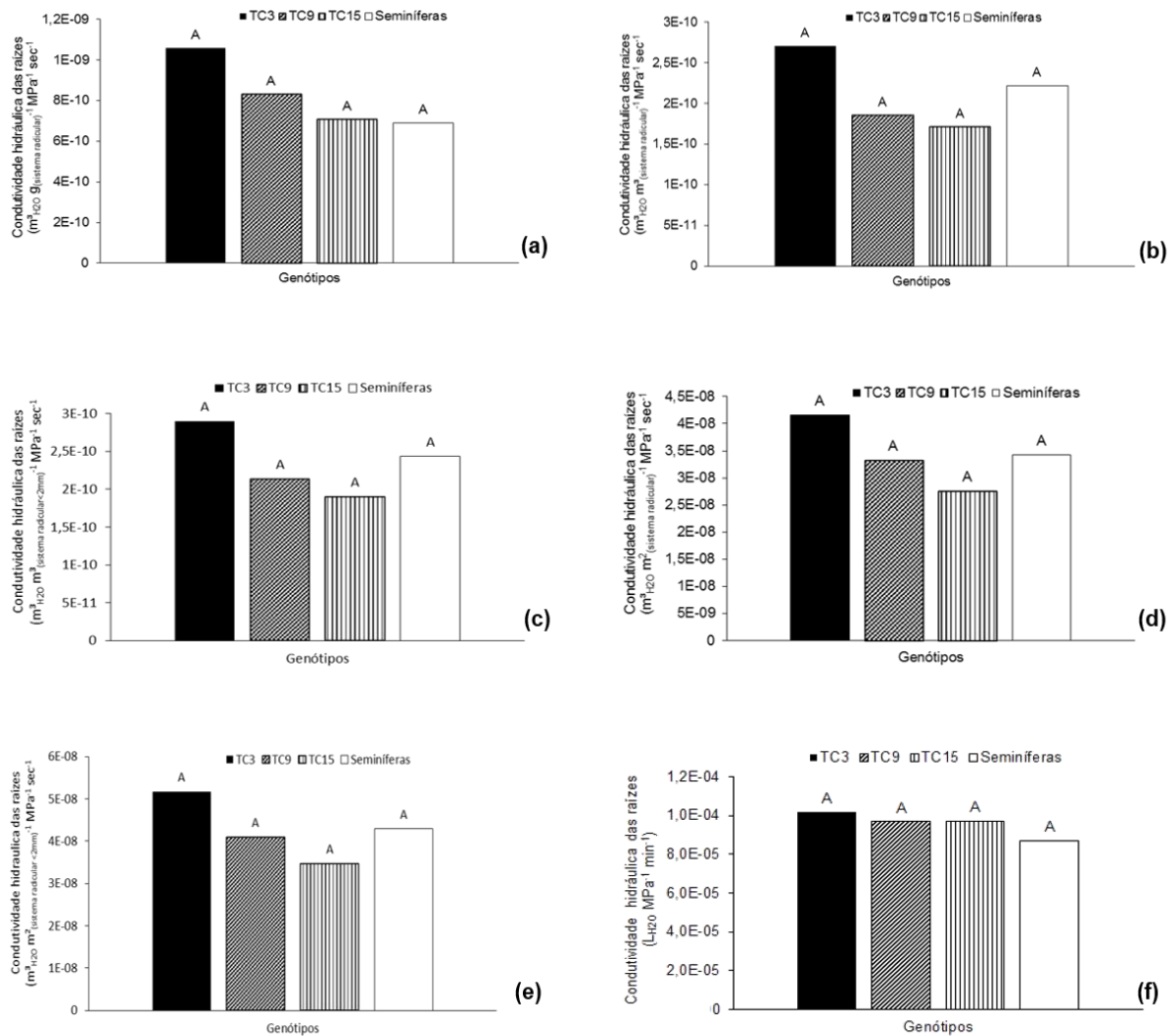


Figura 3: Condutividade hidráulica das raízes normalizada pela massa seca do sistema radicular (a), pelo volume do sistema radicular (b), pelo volume das raízes finas (\varnothing_{0-2mm}) (c), pela área de superfície das raízes (d), pela área de superfície das raízes finas (\varnothing_{0-2mm}) (e) e não normalizada (f) considerando os três clones e as mudas propagadas por semente de *Toona ciliata* aos 120 dias.

A absorção e o transporte de água pelas raízes são influenciados por vários fatores, tais como as características anatômicas do xilema (Tombesi et al., 2009), o confinamento e a deformação das raízes (Figueiredo et al., 2014) e o menor número de células no córtex (Steudle e Peterson, 1998; Rieger e Livtin, 1999). Portanto, a avaliação dessas variáveis em estudos futuros com mudas de *Toona ciliata* é de grande importância.

Além disso, será importante também incorporar as avaliações de K_{raiz} em plantas de *Toona ciliata* em futuros estudos que visam compreender as respostas ao déficit hídrico e/ou alto VPD_{ar} , uma vez que segundo Sinclair et al (2008) a

baixa condutividade hidráulica das raízes em plantas de soja pode restringir a taxa transpiratória sob condições de elevada demanda evaporativa do ar, permitindo uma conservação de água no solo e pode assim prolongar o crescimento da planta durante a estação da seca, ou seja, reduzir o murchamento foliar.

Conforme pode ser observado na Figura 4, a maior taxa fotossintética líquida ao meio-dia foi obtida pelas mudas propagadas por sementes, com média de $7,04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, e este resultado foi devido a uma maior condutância estomática ($0,10 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e transpiração ($3,19 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

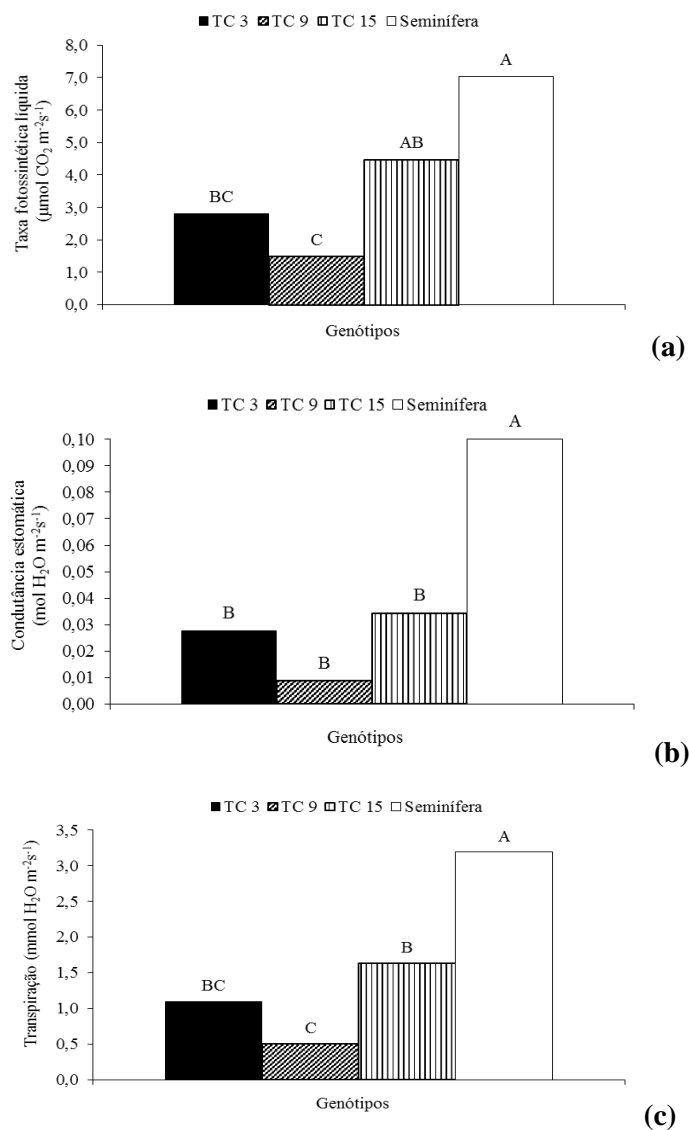


Figura 4: Taxa fotossintética líquida (a), condutância estomática (b) e transpiração (c) de três clones (TC3, TC9 e TC15) e mudas propagadas por sementes de *Toona ciliata* aos 120 dias.

Neste trabalho não é possível estabelecer uma relação entre as respostas das trocas gasosas observadas com as da condutividade hidráulica das raízes, por este não ter apresentado diferença estatística entre as mudas dos materiais genéticos estudados. Nessas condições, a condutividade hidráulica do caule/ramos, bem como a da folha podem ser os componentes mais importantes na absorção e transporte de água no percurso solo-planta-atmosfera.

As plantas que possuem altas taxas de absorção de CO₂ geralmente apresentam grandes perdas por transpiração e, de uma maneira geral, grande consumo de água implica no incremento da produtividade. Neste estudo, os resultados demonstraram que apesar das taxas fotossintéticas das mudas clonais terem sido inferiores às das mudas propagadas por semente, o crescimento das mudas dos clones TC3 e TC9 foi semelhante ao das mudas propagadas por semente (Tabela 2). Este fato mostra que, em relação às mudas propagadas por semente, estes clones apresentam maior eficiência na conversão do carbono assimilado em biomassa.

Apenas a altura e o número de folhas das mudas propagadas por semente mostraram-se superiores em relação às mudas dos três clones de *T. Ciliata* (Tabela 2).

Não foi observada nenhuma diferença entre os materiais genéticos (TC3, TC9, TC15 e propagadas por semente) quando se considera o índice SPAD, clorofila *a*, *b* e total, carotenoides, relação entre clorofila *a* e clorofila *b*, e a relação clorofila total e carotenoides. Resultados semelhantes foram encontrados para a massa seca da raiz, diâmetro médio das raízes e volume de raízes finas ($\emptyset_{0-2\text{mm}}$) (Tabela 2).

Tabela 2: Altura (H), diâmetro do colo (DAC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca (MSR), comprimento total (CRT) e até 2mm de diâmetro (CR \varnothing 0-2mm), diâmetro médio (DMR), volume total (VR) e até 2mm de diâmetro (VR \varnothing 0-2mm), área superficial de raiz (ASR) e até 2mm de diâmetro (ASR \varnothing 0-2mm), relação área superficial por massa seca de raiz (ASR/MSR), índice SPAD, clorofila a, b, total, carotenoides, relação clorofila a e b, relação clorofila total e carotenoide, de três clones (TC3, TC9 e TC15) e mudas seminíferas de cedro australiano (*Toona ciliata*) aos 120 dias.

Variáveis analisadas	Materiais Genéticos								Média	CV (%)
	Clone TC3		Clone TC9		Clone TC15		Seminífera			
H (m)	0,111	B	0,108	B	0,136	B	0,220	A	0,146	12,4
DAC (m)	0,00600	B	0,00651	AB	0,0072	A	0,00601	B	0,0064	9,8
NF	7,6	B	5,80	B	6,80	B	10,0	A	7,6	17,1
AF (m ²)	0,07102	A	0,06154	A	0,06852	A	0,06207	A	0,06579	17,6
MSPA (g)	5,11	AB	5,0	AB	5,83	A	4,21	B	5,04	11,3
MSR (g)	1,83	A	1,96	A	2,37	A	2,18	A	2,09	20,6
CRT (m)	22,642	B	24,778	AB	29,259	A	22,210	B	24,722	14,0
CR (m) \varnothing 0-2mm	22,192	B	24,073	AB	28,640	A	21,856	B	24,190	13,8
DMR (m)	0,000613	A	0,000625	A	0,000632	A	0,000620	A	0,000622	4,7
VR (m ³)	0,0000072	AB	0,0000088	AB	0,0000095	A	0,0000067	B	0,0000081	18,2
VR (m ³) \varnothing 0-2mm	0,0000066	A	0,0000078	A	0,0000085	A	0,0000062	A	0,0000073	17,6
ASR (m ²)	0,04527	AB	0,05245	AB	0,05896	A	0,04332	B	0,05000	15,8
ASR (m ²) \varnothing 0-2mm	0,03622	AB	0,04064	AB	0,04658	A	0,03459	B	0,03951	15,5
ASR/MSR	25,27	A	26,65	A	25,08	A	20,06	B	24,27	9,5
Índice SPAD	38,36	A	40,66	A	38,44	A	40,64	A	39,5	11,0
Clorofila a (μ mol m ⁻²)	298,90	A	298,15	A	312,10	A	305,62	A	303,7	23,6
Clorofila b (μ mol m ⁻²)	134,07	A	212,14	A	182,18	A	215,32	A	185,9	35,9
Clorofila total (μ mol m ⁻²)	432,97	A	510,30	A	494,30	A	520,9	A	489,6	24,9
Carotenoides (μ mol m ⁻²)	34,06	A	27,00	A	30,76	A	23,35	A	28,8	33,8
Ca/Cb	2,45	A	1,37	A	1,93	A	1,67	A	1,86	38,9
Ct/Car	13,14	A	19,83	A	19,02	A	23,76	A	18,9	37,5

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

As mudas de *T. ciliata* propagadas por semente apresentaram menor relação ASR/MSR, porém este comportamento não influenciou a K_{raiz} , uma vez que não houve diferença entre os materiais genéticos (Tabela 2 e Figura 3). Por outro lado, Solari et al. (2006) verificaram menor K_{raiz} em porta-enxertos de

pêssego, com menor área de superfície de raízes finas por peso seco de raiz (ASR/MSR), quando comparados com o porta-enxerto mais vigoroso.

No presente estudo, a diferença existente entre a arquitetura/anatomia do sistema radicular das mudas propagadas por semente pode ter contribuído para tais respostas. A tendência das mudas clonais é apresentar um sistema radicular com maior volume de raiz, de pelos radiculares e área superficial. As mudas propagadas por semente, por sua vez, apresentam maior quantidade de raízes grossas e suberizadas.

Os resultados das trocas gasosas mostrados na Figura 4 corroboram os dados apresentados na Tabela 3, em que mostra a correlação significativa e positiva entre a taxa fotossintética líquida com a condutância estomática e a transpiração, e entre condutância estomática com a transpiração (Tabela 3).

Houve uma correlação negativa entre a K_{raiz}/MSR , K_{raiz}/ASR , K_{raiz}/VR e a massa seca da raiz (MSR), diâmetro da raiz (DMR), diâmetro de raízes finas (DMR \varnothing 0-2mm), comprimento total de raízes (CR), comprimento de raízes finas (CR \varnothing 0-2mm), o volume de raiz (VR), o volume de raízes finas (VR \varnothing 0-2mm), área de superfície de raiz (ASR), área de superfície de raízes finas (ASR \varnothing 0-2mm) (Tabela 3).

Tabela 3: Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis, relação condutividade hidráulica das raízes (K_{raiz}) em quatro pressões (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 MPa) por massa seca das raízes (K_{raiz}/MSR), relação condutividade hidráulica por volume das raízes (K_{raiz}/V), condutividade hidráulica por volume de raízes finas ($K_{raiz}/V_{\varnothing 0-2mm}$), condutividade hidráulica por área superficial de raiz (K_{raiz}/ASR), condutividade hidráulica por área superficial de raízes finas ($K_{raiz}/ASR_{\varnothing 0-2mm}$), diâmetro do colo (DAC), área foliar (AF), massa seca das raízes (MSR), diâmetro médio das raízes (DMR), diâmetro médio das raízes até 2mm de diâmetro ($DMR_{\varnothing 0-2mm}$), comprimento das raízes (CR), comprimento de raízes até 2mm de diâmetro ($CR_{\varnothing 0-2mm}$), volume das raízes (V), volume das raízes finas ($V_{\varnothing 0-2mm}$), área superficial das raízes (ASR), área superficial de raízes finas ($ASR_{\varnothing 0-2mm}$), fotossíntese (A); condutância (g_s); transpiração (E) de mudas seminíferas e clonais de *Toona ciliata*.

Variables	K_{raiz}	K_{raiz}/MSR	K_{raiz}/V	$K_{raiz}/V_{\varnothing 0-2mm}$	K_{raiz}/ASR	$K_{raiz}/ASR_{\varnothing 0-2mm}$	DAC	AF	MSR	DMR	$DMR_{\varnothing 0-2mm}$	CR	$CR_{\varnothing 0-2mm}$	V	$V_{\varnothing 0-2mm}$	ASR	$ASR_{\varnothing 0-2mm}$	A	g_s	E
K_{raiz}	1																			
K_{raiz}/MSR	0,81*	1																		
K_{raiz}/V	0,78*	0,94*	1																	
$K_{raiz}/V_{\varnothing 0-2mm}$	0,82*	0,93*	0,99*	1																
K_{raiz}/ASR	0,79*	0,96*	0,99*	0,99*	1															
$K_{raiz}/ASR_{\varnothing 0-2mm}$	0,88*	0,95*	0,98*	0,99*	0,99*	1														
DAC	0,16	-0,11	-0,22	-0,18	-0,18	-0,15	1													
AF	-0,03	0,04	-0,03	-0,08	-0,05	-0,07	-0,23	1												
MSR	-0,25*	-0,71*	-0,63*	-0,60*	-0,62*	-0,60*	0,30	-0,07	1											
DMR	-0,04	-0,30	-0,47*	-0,41	-0,32	-0,30	0,33	-0,01	0,25	1										
$DMR_{\varnothing 0-2mm}$	-0,12	-0,23	-0,48*	-0,46*	-0,36	-0,35	0,25	0,13	0,13	0,93*	1									
CR	-0,24	-0,55*	-0,66*	-0,63*	-0,64*	-0,62*	0,44*	0,06	0,78*	0,37	0,29	1								
$CR_{\varnothing 0-2mm}$	-0,24	-0,55*	-0,66*	-0,63*	-0,64*	-0,63*	0,44	0,06	0,79*	0,35	0,28	0,99*	1							
V	-0,21	-0,53*	-0,71*	-0,67*	-0,63*	-0,61*	0,46*	0,04	0,68*	0,74*	0,65*	0,88*	0,87*	1						
$V_{\varnothing 0-2mm}$	-0,29	-0,55*	-0,73*	-0,69*	-0,66*	-0,65*	0,42	0,14	0,68*	0,66*	0,63*	0,90*	0,90*	0,96*	1					
ASR	-0,23	-0,54*	-0,70*	-0,66*	-0,65*	-0,63*	0,47*	0,05	0,73*	0,58*	0,50*	0,66*	0,67*	0,97*	0,97*	1				
$ASR_{\varnothing 0-2mm}$	-0,25	-0,56*	-0,71*	-0,69*	-0,66*	-0,65*	0,46*	0,10	0,73*	0,55*	0,50*	0,69*	0,70*	0,95*	0,97*	0,99*	1			
A	0,03	-0,15	0,04	-0,05	-0,01	-0,04	0,009	-0,29	0,14	-0,25	-0,17	-0,13	-0,11	-0,24	-0,16	-0,19	-0,16	1		
g_s	0,00	-0,08	0,09	0,08	0,07	0,05	-0,13	-0,37	-0,03	-0,30	-0,22	-0,33	-0,32	-0,40	-0,33	-0,36	-0,34	0,96*	1	
E	0,02	-0,14	0,05	0,04	0,03	0,05	-0,09	-0,30	0,12	-0,31	-0,24	-0,21	-0,19	-0,32	-0,24	-0,28	-0,24	0,99*	0,98*	1

*significativo em 5% de probabilidade.

Estes resultados mostraram que a maior produção de biomassa das raízes causou redução na K_{raiz} nas mudas com 120 dias de cultivo. Mesmo com o sistema radicular desenvolvido, em mudas de *T. ciliata* quando cultivadas por 120 dias, o volume do recipiente de cultivo pode ter causado o confinamento das raízes, e este confinamento, proporcionou uma redução na condutividade hidráulica do sistema radicular.

Nas condições de confinamento, a emissão de novas raízes fica prejudicada, uma vez que não se tem espaço físico para o crescimento destas raízes finas, as quais são responsáveis pela maior atividade de absorção de água e nutrientes (Richards e Rowe, 1977). Esta redução do espaço físico pode resultar na redução da K_{raiz} , uma vez que a quantidade de raízes grossas e mais suberizadas seria maior, o que poderia contribuir para a elevação da massa seca e volume. Possivelmente, se as mudas do presente estudo permanecessem por menos tempo na casa de vegetação, a restrição radicular seria minimizada e poderia se ter um incremento na condutividade hidráulica das raízes.

Outro indicativo de que essas mudas podem estar sob confinamento de raiz são as correlações negativas entre as trocas gasosas e o crescimento das raízes. No entanto, no presente estudo, estas correlações não foram significativas (Tabela 3). Os estudos desenvolvidos por Ronchi et al. (2006), Shi et al. (2008) e Young et al. (2010) demonstraram que houve redução na taxa fotossintética líquida com o aumento da restrição radicular em mudas de *Coffea arabica*, *Lycopersicon esculentum* e *Gossypium hirsutum*, respectivamente, seja por efeitos estomáticos ou não estomáticos.

Figueiredo et al. (2014b) avaliaram a influência do tempo de permanência das mudas de três clones de eucalipto em condição de céu aberto na praça de rustificação, com as respostas fotossintéticas e observaram que o maior tempo de permanência (180 dias) das mudas em tubetes de 53 cm³ resultou em reduções na capacidade fotossintética, evidenciando que nessas condições, as mudas estavam com restrições radiculares.

Na Tabela 3 também pode ser observado correlações positivas entre o diâmetro do caule com o comprimento total (CTR), o volume (VR) e a área de superfície das raízes (ASR) (Tabela 3). Houve também correlações positivas entre massa seca de raízes (MSR) com o volume e área superficial de raízes totais e

menores que 2 mm. Ainda, a MSR foi correlacionada positivamente com o comprimento das raízes.

De acordo com a Figura 5a e 5b, os genótipos que apresentaram maior eficiência intrínseca na utilização da água foram os clones TC9 seguido do TC15. As mudas propagadas por sementes apresentaram uma baixa eficiência intrínseca e instantânea no uso da água (A/g_s - $77,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$; A/E - $2,18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$), contudo não diferindo do clone TC3 (A/g_s - $101,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$; A/E - $2,57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$). As eficiências, intrínseca e instantânea, do clone TC9 foram 55% e 27% mais elevadas do que as mudas propagadas por sementes.

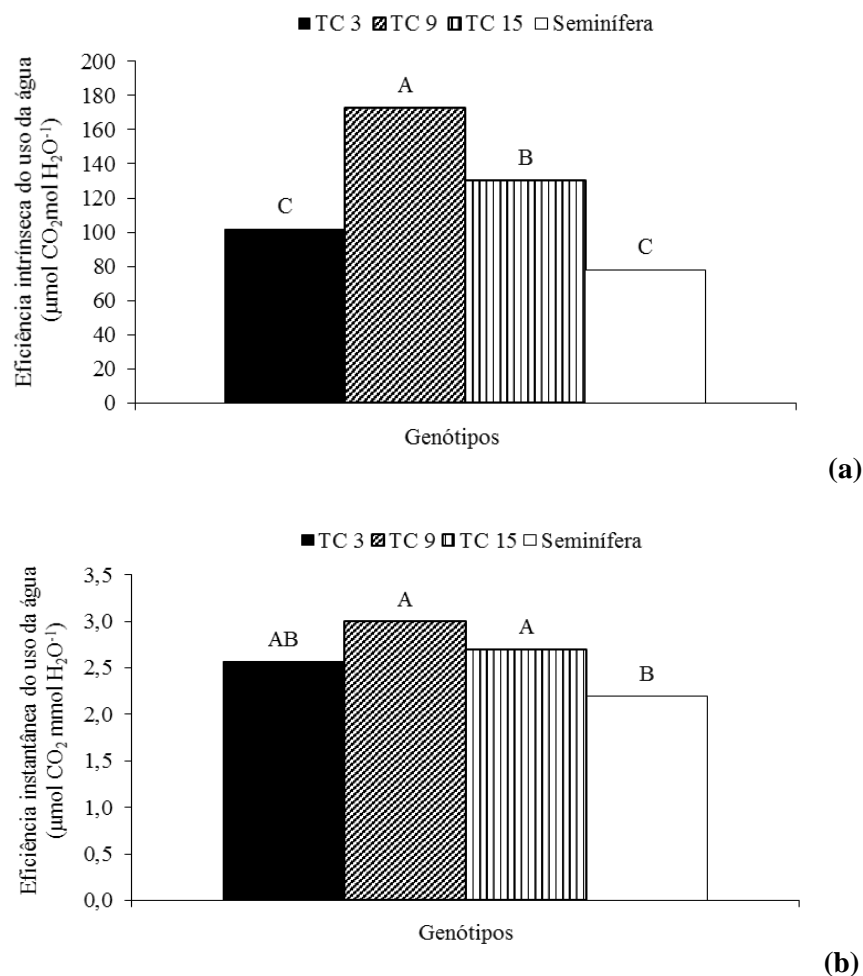


Figura 5: Eficiência intrínseca (a) e instantânea (b) do uso da água de três clones (TC3, TC9 e TC15) e mudas propagadas por sementes de *Toona ciliata* aos 120 dias.

Mesmo com elevada taxa fotossintética, as mudas propagadas por sementes apresentaram menor relação A/g_s e A/E . Essa resposta foi diferente

das mudas do clone TC9 que, apesar do reduzido valor de A e E , apresentou a maior eficiência intrínseca no uso da água entre os materiais genéticos estudados (Figura 4 e 5). Como o valor de gs foi muito reduzido nas mudas do clone TC9, esta redução evidencia que, provavelmente, essas mudas estavam submetidas a menores tensões do xilema em relação aos demais genótipos.

Segundo El-Sharkawy et al. (1985), a redução na condutância estomática pode reduzir a perda de água das folhas, ocasionando assim a elevação na eficiência no uso da água. Resultados obtidos por Rocha e Moraes (1997), com plantas jovens de *Stryphondendron adstringens*, corroboram este presente trabalho com mudas de *Toona ciliata*, em que o aumento na eficiência do uso da água ocorreu nos genótipos com valores de condutância estomática e transpiração menores. Os autores evidenciam que, provavelmente, a *Stryphondendron adstringens* esteja bem adaptada às condições de deficiência hídrica.

A diferença encontrada entre os materiais genéticos no presente estudo poderá servir de base para futuros trabalhos de seleção de genótipos. Entretanto, novos estudos necessitam ser realizados para obter informações mais conclusivas. Os resultados apresentados direcionam a necessidade de um maior número de pesquisas sobre as possíveis relações entre a condutividade hidráulica, atividades das aquaporinas, densidade estomática, condutividade hidráulica no caule e folhas e a restrição radicular em genótipos de *Toona ciliata*, bem como futuros estudos necessitam ser realizados objetivando verificar as respostas dos clones estudados à limitação hídrica do solo.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, a condutividade hidráulica das raízes não diferiu entre os materiais genéticos.

Quando comparados com as mudas propagadas por sementes, os três clones apresentaram maior controle da perda de água através das folhas.

O clone TC15 apresentou um sistema radicular mais desenvolvido do que as mudas propagadas por sementes. Por outro lado, o crescimento do sistema radicular foi semelhante entre os clones TC3 e TC9.

O clone TC9 resultou em mudas com maior controle estomático e conseqüentemente maior eficiência intrínseca do uso da água.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro e ao setor de fisiologia vegetal da UENF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atkin OK, Scheurwater I, Pons TL (2007) Respiration as a percentage of daily photosynthesis in whole plants is homeostatic at moderate, but not high, growth temperatures. *New Phytologist*, 174: 367-380.

Boursiac Y, Prak S, Boudet J, Postaire O, Luu DT, Tournaire-Roux C, Santoni V, Maurel C (2008) The response of *Arabidopsis* root water transport to a challenging environment implicates reactive oxygen species-and phosphorylation-dependent internalization of aquaporins. *Plant Signaling & Behavior* 3: 1096-8.

Boyer, J.S. (1985) Water transport. *Annual Review of Plant Physiology* 36: 473-516

El-Sharkawy, MA.; Cock, JH.; Hernandez, ADP. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis Research*, v.7, p.137-149, 1985.

Figueiredo FAMMA, Carneiro JGA, Penchel RM, Campostrini E, Thiebaut JTL, Barroso DG (2014a) Condutividade hidráulica de raiz e capacidade fotossintética de mudas clonais de eucalipto com indução de deformações radiculares. *Ciência Florestal* 24 (2): 1-10.

Figueiredo FAMMA, Carneiro JGA, Penchel RM, Campostrini E, Thiebaut JTL, Barroso DG (2014b) Trocas gasosas, relações hídricas e eficiência fotoquímica em mudas clonais de eucalipto com permanência prolongada em

tubetes. *Scientia Forestalis* 42 (104).

- Fitter AH (1991) Characteristics and functions of root systems. In: Waisel Y, Eshel A, Kafri U (eds), *Plant Roots: The hidden half*, pp. 3-24. Marcel Dekker, New York.
- Gilbert ME, Holbrook NM, Zwieniecki MA, Sinclair TR (2011) Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. *Field Crops Research* 124: 85-92.
- Gonçalves JLM, Mello SLM (2005) O sistema radicular das árvores. In: Gonçalves JLM, Benedetti V (eds), *Nutrição e fertilização de florestas*, pp.221-267. IPEF, Piracicaba.
- Gholipour M, Prasad PVV, Mutava RN, Sinclair TR (2010) Genetic variability of transpiration response to vapor pressure deficit among sorghum genotypes. *Field Crops Research* 119: 85–90.
- Gregory PJ (1994) Root growth and activity. In: *Physiology and determination of crop yield*, pp. 65-93.
- Hubbard, R. M., Bond, B. J., Ryan, M. G. (1999) Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees. *Tree Physiology*, 19: 165-172.
- Kholova J, Hash CT, Kakkera A, Kocova M, Vadez V (2010) Constitutive water conserving mechanisms are correlated with the terminal drought tolerance of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. *Journal of Experimental Botany* 61: 367-377.
- Knipfer, T., Steudle, E. (2008) Root hydraulic conductivity measured by pressure clamp is substantially affected by internal unstirred layers. *Journal of Experimental Botany* 59: 2071-2084.
- Knipfer, T., Fricke, W. (2011) Water uptake by seminal and adventitious roots in relation to whole-plant water flow in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Botany*, 62:717-733.
- Kozłowski T T, Pallardy SG (1997) *Physiology of woody plants*. 2^a ed. Academic

Press, San Diego.

Maurel, C., Simonneau, T., Sutka, M. (2010) The significance of roots as hydraulic rheostats. *Journal of Experimental Botany*, 61, (12): 3191-3198.

Raven PH, Eichhom SE, Evert RF (2014) *Biologia vegetal*. 8ª ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

Richards, D., Rowe, R. N. (1977) Effects of root restriction, root pruning and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. *Annals Botany*, 41:729-740.

Rieger, M., Livtin, P. (1999) Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *Journal of Experimental Botany*, 50: 201-209.

Rocha AMS, Moraes JAPV (1997) Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 9 (1): 41-46.

Ronchi CP, Damatta FM, Batista KD, Moraes GABK, Loureiro ME, Ducatti C (2006) Growth and photosynthetic down-regulation in *Coffea arabica* in response to restricted root volume. *Functional Plant Biology* 33(11): 1013-1023.

Shi K, Ding XT, Dong DK, Zhou YH, Yu JQ (2008) Root restriction-induced limitation to photosynthesis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) leaves. *Scientia Horticulturae*, 117: 197-202.

Sinclair TR, Zwieniecki MA, Holbrook NM (2008) Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean. *Physiologia Plantarum* 132: 446-451.

Solari LI, Pernice F, DeJong TM (2006) The relationship of hydraulic conductance to root system characteristics of peach (*Prunus persica*) rootstocks. *Physiologia Plantarum* 128: 324-333.

Steudle, E., Peterson, A. (1998) How does water get through roots? *Journal of Experimental Botany*, New York, 49: 775-788.

- Tombesi S, Johnson RS, Day KR, DeJong TM (2009) Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany* 105: 327-331.
- Tyree, M. T., Ewers, F. W. (1991) The hydraulic architecture of trees and other woody-plants. *New Phytologist*, 119: 345–360.
- Tyree MT (2003) Hydraulic properties of roots. In: Kroon H, Visser EJW (Eds) *Root Ecology*. Ecological Studies. Springer, Berlin, pp. 125-150.
- Wellburn AR (1994) The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal Plant Physiology* 144: 307-313.
- Young JWH, Letham DS, Wong SC, Farquhar GD (2010) Effects of roots restriction on growth and associated cytokinin levels in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Functional Plant Biology* 37 (10): 974-984.

4.4. SATURAÇÃO POR BASES NO CRESCIMENTO, CONTEÚDO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES EM MUDAS DE *TOONA CILIATA* E *CEDRELA FISSILIS*

RESUMO

O cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*) e o cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vellozo) apresentam potencial econômico com ênfase para a indústria moveleira. Estudos relacionados à nutrição destas espécies ainda são incipientes. O objetivo deste estudo é verificar o efeito de níveis de saturação por bases sobre o crescimento inicial, o conteúdo e a eficiência de utilização dos nutrientes em mudas de *T. ciliata* e *C. fissilis*. O experimento foi instalado em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4 (espécies e níveis de cálcio) com seis repetições e quatro plantas por parcela. Os níveis de cálcio aplicados foram 0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹, na forma de carbonato e no último nível, a metade como nitrato de cálcio, elevando a saturação por bases após 80 dias de incubação para 31%, 57%, 68% e 85%, respectivamente. A ordem decrescente dos nutrientes acumulados nas folhas de *T. ciliata* foi: N>K>Ca>P>Mg>S>Fe>B>Mn>Zn>Cu. No *C. fissilis*, apenas a ordem do S>P>Mg mostrou-se diferente. A aplicação de cálcio resultou em ganhos positivos no crescimento e na qualidade das mudas das duas espécies. A partir de 0,88 g L⁻¹ de cálcio, houve redução da massa seca da parte aérea e a partir de 0,57 g L⁻¹, aumento da massa seca das raízes para *C. fissilis*. A utilização de 1,52 g L⁻¹ de cálcio, com saturação por base de 85%

incrementou a eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, magnésio, zinco e manganês para as duas espécies.

Palavras-chave: nutrição de plantas, saturação por base, cedro australiano, cedro rosa.

ABSTRACT

The Australian cedar (*Toona ciliata* var. *Australis*) and cedar pink (*Cedrela fissilis* Vellozo) have economic potential with emphasis on the furniture industry. Nutrition-related studies of these species are still incipient. The aim of this study is to verify the effect of base saturation levels on the initial growth, content and nutrient use efficiency in *T. ciliata* and *C. fissilis*. The experiment was installed in randomized blocks in a 2x4 factorial design (species and calcium levels) with six replications and four plants per plot. The calcium levels were applied 0; 0.37; 0.76 to 1.52 g L⁻¹, the carbonate and the last level, half as calcium nitrate, raising the base saturation after 80 days of incubation to 31%, 57%, 68% and 85% respectively. The decreasing order of nutrient accumulation in leaves of *T. ciliata* was: N> K> Ca> P> Mg> S> Fe> B> Mn> Zn> Cu. In *C. fissilis*, only the order of S> P> Mg proved different. Calcium application resulted in positive gains in growth and quality of plants of both species. From 0.88 g L⁻¹ of calcium, a reduction of shoot dry mass and from 0.57 g L⁻¹, increased dry mass of roots *C. fissilis*. Using 1.52 g L⁻¹ of calcium with base saturation of 85% increased the nitrogen use efficiency, phosphorus, magnesium, zinc and manganese in the two species.

Keywords: plant nutrition, base saturation, Australian cedar, pink cedar.

INTRODUÇÃO

Conhecer as exigências nutricionais das mudas permite uma produção de melhor qualidade, e provavelmente essas mudas serão capazes de resistir às condições adversas em campo, expressando todo o seu potencial genético. Por isso, a utilização de mudas de qualidade é um fator imprescindível para que o plantio em campo seja bem-sucedido.

Tanto a exigência nutricional quanto o crescimento das plantas variam de acordo com a espécie e o cultivar (Fageria, 1998), dependendo da sua eficiência

de absorção, de translocação e de uso dos nutrientes (Duncan e Baligar, 1990).

As informações sobre a quantidade de nutrientes requerida pelos cedros, australiano (*Toona ciliata*) e rosa (*Cedrela fissilis*), e sua eficiência nutricional ainda são limitadas. No entanto, de acordo com Souza et al. (2010), o cedro australiano é exigente em nutrientes, em especial o cálcio.

De acordo com Moretti et al. (2011), aos 30 dias após ter submetido as plantas de *Toona ciliata* ao tratamento com omissão de cálcio foram observados os primeiros sintomas visuais de deficiência. Os autores verificaram que a omissão de cálcio acarretou anormalidades visíveis nas folhas mais novas. Estas se mostraram recurvadas para baixo e com surgimento de clorose seguida por necrose nas pontas das folhas, além de apresentarem também um menor número de folhas e as raízes mostraram-se menos desenvolvidas e mais espessas, com poucas raízes laterais e de coloração escura (Moretti et al. 2011).

Portanto, para que as mudas consigam se desenvolver adequadamente, elevando seu desempenho, é indispensável que sejam fornecidos todos os macro e micronutrientes de forma equilibrada e que o pH do substrato de cultivo esteja dentro da faixa considerada ótima, para que os nutrientes estejam disponíveis para serem absorvidos pelas raízes das plantas. Segundo Sousa et al. (2007), a maioria dos solos brasileiros apresenta limitações de cultivo para várias espécies em decorrência dos efeitos da acidez. Furtini Neto et al. (1999) também afirmam que a ocorrência de solos ácidos e/ou com baixos níveis de fertilidade são entraves que têm prejudicado a aquisição de nutrientes e dificultado o estabelecimento das mudas em condições de campo.

Essas limitações podem ser corrigidas por meio de corretivos, em geral, calcários e fertilizantes químicos ou orgânicos. A calagem, além de reduzir a acidez do solo, aumenta a disponibilidade de cálcio e magnésio e reduz a concentração do alumínio tóxico. Essa é uma prática fundamental no desenvolvimento das espécies florestais, não só para a redução da acidez do solo, mas também como fonte de nutrientes indispensáveis ao crescimento inicial das plantas.

Gonçalves et al. (2008) recomendam a calagem para espécies florestais nativas com objetivo principal de aumentar as disponibilidades de Ca e Mg, sendo que a quantidade de calcário a aplicar pode ser determinada em função dos teores destes nutrientes.

A influência da saturação por bases tem sido pesquisada em diversas espécies florestais. Segundo Vilela e Stehling (2012), para o plantio em campo, de mudas de cedro australiano recomenda-se elevar a saturação por bases para 50%. Por outro lado, Oliveira et al (2015) verificaram que a saturação por bases ideal para o cultivo de cedro australiano é de 75%.

Para as espécies de *Tabebuia impetiginosa* (Cruz et al., 2004), *Coffea arabica* (Corrêa et al., 2007), *Dalbergia nigra* (Bernardino et al. 2007), *Apuleia leiocarpa* (Gomes et al., 2008), *Jatropha curcas* (Bonfim-Silva et al., 2011), *Amburana acreana* (Vieira et al., 2015) e *Tectona grandis* (Favare et al., 2012), os autores observaram que o ideal é elevar a saturação por bases para 50%, 55,1%, 60%, 60%, 40-60%, 60% e 70 %, respectivamente. Portanto, como cada espécie possui suas particularidades, os resultados não devem ser generalizados.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é verificar o efeito de níveis de saturação por bases sobre o crescimento inicial, o conteúdo e a eficiência de utilização dos nutrientes em mudas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*, cultivadas em casa de vegetação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre setembro de 2013 e janeiro de 2014 em casa de vegetação com cobertura plástica (filme agrícola 150 µm) e sombrite 30%, localizada na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no município de Campos dos Goytacazes-RJ.

Empregou-se o delineamento em blocos casualizados, sob esquema fatorial 2 x 4 (espécies e níveis de cálcio), com seis repetições e quatro plantas por parcela.

Ao longo dos 120 dias de experimento foram registradas a temperatura e umidade relativa, na casa de vegetação, por meio de um data logger modelo RHT10 (Extech Instruments), com programação de leitura a cada hora. Na figura 1 estão apresentados semanalmente os dados mínimos, médios e máximos da temperatura e umidade relativa.

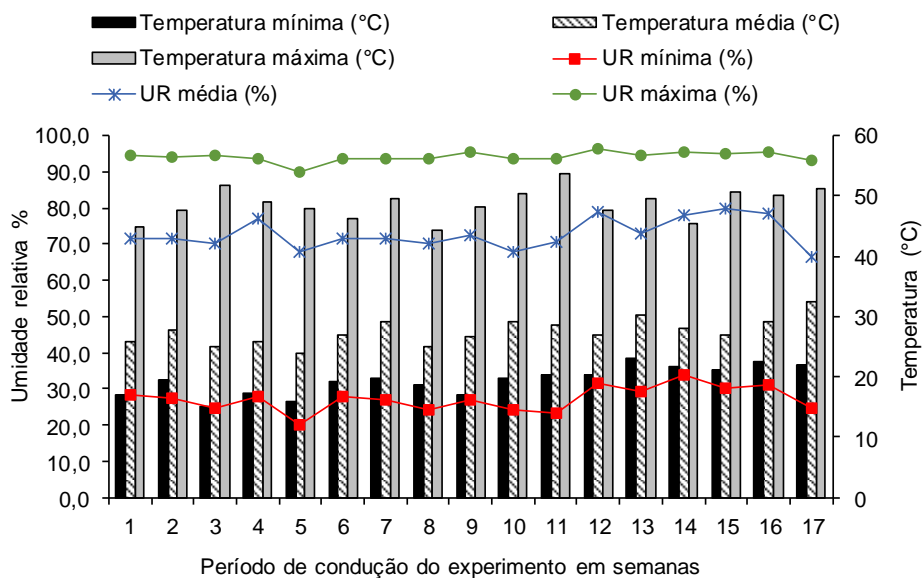


Figura 1: Temperatura (°C) e umidade relativa (%) mínima, média e máxima semanais registradas na casa de vegetação durante o período de condução do experimento.

As mudas de cedro australiano e cedro rosa utilizadas no experimento foram propagadas, respectivamente, por miniestaquia e por sementes, sendo cultivadas por 90 dias em tubetes de 180 cm³, contendo substrato florestal comercial, à base de casca de pinus decomposta e adubo de liberação lenta (15-09-12), na concentração de 8 g Kg⁻¹ de substrato. As miniestacas foram preparadas e estaqueadas no mesmo dia em que as sementes foram colocadas para germinar.

As miniestacas foram provenientes de um minijardim clonal com nove meses de exploração. Já as sementes foram adquiridas da empresa Caiçara Comércio de Sementes Ltda, em Brejo Alegre, SP, provenientes de Área de Produção de Sementes (APS), localizada em Venda Nova do Imigrante, ES.

O solo de textura argilosa foi destorroado, peneirado e recebeu as doses de 0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹ de cálcio, determinadas pelo método de saturação por bases, aplicando-se carbonato de cálcio P.A. para atingir 31%, 50%, 70% e 70% da saturação por bases. No último nível, metade da quantidade de cálcio foi adicionada como nitrato de cálcio P.A. O solo foi então, incubado por 80 dias a 50% da capacidade de campo até estabilização do pH (medido com potenciômetro a cada sete dias), resultando em solos com saturação por bases de 31%, 57%, 68% e 85%, respectivamente, sendo que 31% é a saturação

natural do solo. Ao final do período de incubação, foi transplantada uma muda para cada citrovaso, com dimensões de 35 cm de altura, 15 cm do diâmetro e capacidade de 4 dm³ de solo. Neste momento, as mudas produzidas em tubetes tiveram o sistema radicular lavado para retirada do excesso de substrato.

As mudas foram adubadas com 660 mg L⁻¹ de N; 700 mg L⁻¹ de P₂O₅; 470 mg L⁻¹ de K₂O; 2 mg L⁻¹ de Mg; 40 mg L⁻¹ de S; 14 mg L⁻¹ de Zn e 3 mg L⁻¹ de B; 1,3 mg L⁻¹ de Cu; 3,3 mg L⁻¹ de Mn; 5,5 mg L⁻¹ de Fe e 0,15 mg L⁻¹ de Mo, aplicados como ureia e nitrato de amônio, fosfato monoamônico (MAP), cloreto de potássio, sulfato de magnésio e os micronutrientes como FTE Br12. As adubações foram parceladas em três aplicações (plantio, 30 e 60 dias) como solução nutritiva, exceto o MAP e FTE Br12, que foram aplicados diretamente no solo.

A interpretação da análise do substrato foi realizada de acordo com a 5^a aproximação e as recomendações de adubação, de acordo com o recomendado pela literatura (Vilela e Stehling, 2012).

Durante todo o período experimental, as mudas foram irrigadas duas vezes ao dia ou conforme a necessidade, com o auxílio de uma mangueira de jatos finos de água.

O solo foi coletado no dia do plantio e ao final do experimento, para ser analisado quimicamente, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

No dia em que as mudas foram transplantadas para os citrovasos e ao final de 120 dias, avaliou-se a altura e o diâmetro do coleto, utilizando-se uma régua e um paquímetro digital, respectivamente. A partir dessas duas medidas foi calculado o incremento para cada variável. As demais variáveis descritas a seguir foram avaliadas apenas ao final do experimento, aos 120 dias após o transplântio.

A área foliar foi determinada pelo medidor de área foliar eletrônico de bancada (LI-3000, LI-COR Inc.). A massa seca da parte aérea (caule e folhas) foi determinada após a secagem, em estufa de circulação forçada a 65°C ± 2 por 72 horas, para posterior pesagem em balança analítica.

Para análise de macro e micronutrientes realizada no Centro de Análises do Campus Dr. Leonel Miranda da UFRRJ, em Campos dos Goytacazes - RJ, conforme metodologias descritas por Malavolta et al. (1997) e Jones Jr. et al. (1991), as folhas foram separadas do caule e trituradas em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh e submetidas à digestão nítrico-perclórica (HNO₃ e

HClO₄) e os extratos utilizados para determinação de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn. O P foi determinado colorimetricamente pelo método azul de molibdato, o K, por espectrofotometria e o S, por turbidimetria com cloreto de bário. O Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O nitrogênio (N) foi determinado pelo método de Kjeldahl e o Boro (B) por colorimetria, pelo método da curcumina, após incineração em mufla. Com a massa seca das folhas e a concentração dos nutrientes foi calculado o conteúdo de cada nutriente para comparação entre os tratamentos. A partir desses valores foi calculada a eficiência de utilização dos nutrientes nas folhas por meio da equação: $(\text{g massa seca foliar})^2 / (\text{mg conteúdo do nutriente nas folhas})$, conforme Siddiqi e Glass (1981).

Tabela 1: Características químicas dos solos utilizados para produção de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), coletados após 80 dias de incubação de Ca e ao final de 120 dias de cultivo.

Doses de Cálcio (g L ⁻¹)	pH	P*	K*	Ca	Mg	Al	H +Al	Na	C	MO	S.B.	T	t	M	V	Fe	Cu	Zn	Mn	S	B
		- mg kg ⁻¹ -		-----	cmol _c kg ⁻¹ -----		-----		%	g kg ⁻¹	----cmol _c kg ⁻¹ ----			---%---		-----mg kg ⁻¹ -----					
-----Após incubação (aos 80 dias)-----																					
0	4,0	9	148	1,2	1,3	1,1	6,7	0,08	1,48	25,5	3,0	9,7	4,1	27	31	76,9	0,2	2,4	7,3	49,3	0,40
0,37	4,8	8	182	3,2	1,2	0,1	3,7	0,09	1,11	19,1	5,0	8,7	5,1	2	57	27,0	0,8	1,9	5,7	45,2	0,43
0,76	5,6	9	162	5,2	1,2	0,0	3,3	0,10	1,11	19,1	6,9	10,2	6,9	0	68	19,0	1,0	1,3	4,0	79,6	0,37
1,52	5,4	9	172	14,8	1,4	0,0	2,9	0,09	1,06	18,3	16, 7	19,6	16, 7	0	85	28,0	1,1	1,5	4,7	93,2	0,46
----- <i>Toona ciliata</i> (aos 120 dias após o plantio)-----																					
0	4,3	120	204	0,8	0,5	1,2	8,3	0,15	1,06	18,3	2,0	10,3	3,2	38	19	54,0	3,4	14,0	7,5	36,7	0,49
0,37	4,1	108	224	1,9	0,7	0,7	5,9	0,14	1,06	18,3	3,3	9,2	4,0	17	36	50,0	2,0	7,6	6,7	54,6	0,58
0,76	4,1	72	224	2,9	0,6	0,6	5,6	0,15	1,01	17,4	4,2	9,8	4,8	12	43	42,0	1,6	4,9	6,8	47,6	0,68
1,52	4,9	84	252	3,8	0,5	0,2	4,7	0,15	1,11	19,1	5,1	9,8	5,3	4	52	44,0	1,5	3,3	5,8	48,4	0,70
----- <i>Cedrela fissilis</i> (aos 120 dias após o plantio)-----																					
0	4,1	104	204	0,8	0,6	1,1	6,9	0,18	1,06	18,3	2,1	9,0	3,2	34	23	53,0	1,9	5,9	7,4	64,4	0,74
0,37	4,1	104	204	1,7	0,6	0,8	4,5	0,17	1,06	18,3	3,0	7,5	3,8	21	40	50,0	1,8	7,2	6,5	37,0	0,68
0,76	4,1	150	204	2,5	0,5	0,6	6,5	0,17	1,06	18,3	3,7	10,2	4,3	14	36	61,0	1,7	5,9	6,8	17,6	0,62
1,52	4,9	125	176	3,5	0,4	0,2	4,6	0,17	1,11	19,1	4,5	9,1	4,7	4	50	49,0	2,0	5,9	6,3	27,7	0,77

* Extrator Carolina do Norte.

Para avaliação do sistema radicular, as raízes das mudas, com exceção da pivotante para o cedro rosa, foram colocadas em peneiras, lavadas com água corrente para retirada de todo o substrato. Em seguida foram dispostas em uma cuba de acrílico de 20 cm de largura por 30 cm de comprimento, contendo água destilada para determinação do comprimento total, diâmetro médio, volume e área superficial, através do software *WinRhizo Pro 2007a* (Régent Instr. Inc.), acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 com resolução de 400 dpis.

Para determinação da massa seca, as raízes foram retiradas das cubas, colocadas em sacos de papel pardo, devidamente identificados, e levadas para estufa de circulação forçada, a $65^{\circ}\text{C} \pm 2$, por 72 horas. Posteriormente, foram pesadas em balança analítica.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey (5%) de probabilidade. Os dados quantitativos foram submetidos a ajustes de regressão, e os coeficientes das equações testados pelo teste t de student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, observa-se que a elevação da saturação por bases, mediante aplicação do cálcio, não influenciou significativamente o incremento em altura e diâmetro, área foliar e sobrevivência das mudas após o plantio. As mudas do cedro rosa apresentaram valores superiores às do cedro australiano, exceto para o percentual de sobrevivência, que não diferiu entre elas.

Tabela 2: Incremento em altura (cm) (INC H) e diâmetro (mm) (INC D), área foliar (cm²) (AF) e sobrevivência (%) (SOB) das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidas à elevação dos níveis de cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹), aos 120 dias após o plantio.

Variáveis	Espécies	Níveis de Cálcio (g L ⁻¹)				Média	CV (%)
		0	0,37	0,76	1,52		
INC H	<i>T. ciliata</i>	28,54	32,35	32,52	34,71	32,0 b	21,2
	<i>C. fissilis</i>	45,31	51,86	49,57	51,96	49,7 a	
INC D	<i>T. ciliata</i>	5,97	6,41	5,79	6,93	6,3 b	15,6
	<i>C. fissilis</i>	9,98	11,09	11,26	11,41	10,9 a	
AF	<i>T. ciliata</i>	2840,68	2833,22	3478,73	2993,41	3036,5 b	25,1
	<i>C. fissilis</i>	4520,48	4915,56	4656,57	4283,42	4594,0 a	
SOB	<i>T. ciliata</i>	100,0	100,0	91,7	100,0	97,9 a	4,2
	<i>C. fissilis</i>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável não diferem estatisticamente entre si pelo teste de F (5%).

Cruz et al. (2004) também não verificaram influência da saturação por bases (24, 40, 50, 60 e 70%) na altura das mudas de ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa*). Em todos os níveis, as mudas possuíam altura suficiente para o plantio no campo, entre 15 e 30 cm.

Costa et al. (2007) aplicaram níveis crescentes de cálcio (0; 1,17; 2,34; 3,51 e 4,65 g dm⁻³), elevando a saturação por bases para 10; 25; 40; 55 e 70%, em mudas de fava-d'anta e verificaram que o diâmetro do caule também não foi influenciado pelos tratamentos. Aos 140 dias após a semeadura, o diâmetro médio das plantas foi de 3,43 mm. Já no presente estudo, para as duas espécies foram observadas mudas com diâmetros variando de 5,97 a 11,41 mm.

Apesar de não ter havido diferença entre os níveis de cálcio no presente estudo, Moretti et al. (2011) ressaltam a importância da calagem realizada em conjunto com a adubação, pois, na ausência de uma dessas práticas, o desenvolvimento das plantas de cedro australiano ficou comprometido.

Conforme relatos de Souza et al. (2010), o cedro australiano é exigente em cálcio. Entretanto, no presente trabalho as mudas das duas espécies se desenvolveram bem no solo com baixo pH e alto Al³⁺ conforme pode ser observado na Tabela 1.

Na tabela 3 estão apresentados os teores médios de macro e micronutrientes das folhas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa

(*Cedrela fissilis*), em função dos níveis crescentes de cálcio.

Tabela 3: Teores médios de macro (g kg⁻¹) e micronutrientes (mg kg⁻¹) das folhas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*) em função dos níveis crescentes de cálcio, coletadas aos 120 dias após o plantio.

Nutrientes	<i>Toona ciliata</i>				<i>Cedrela fissilis</i>			
	Cálcio (g L ⁻¹)							
	0	0,37	0,76	1,52	0	0,37	0,76	1,52
N	32,34	32,82	30,40	19,04	33,32	33,18	30,88	20,29
P	2,01	2,00	1,96	1,55	1,69	1,70	1,63	1,44
K	24,13	22,87	22,03	23,43	24,75	23,78	24,73	24,48
Ca	3,24	6,86	9,68	11,74	5,14	9,88	12,27	13,21
Mg	1,34	1,31	1,27	1,08	1,92	1,69	1,53	1,32
S	1,41	1,29	1,34	0,94	2,06	1,92	2,18	1,86
Fe	95,67	110,67	117,00	112,33	99,67	141,00	112,67	90,00
Cu	2,00	2,33	2,67	2,00	2,33	2,67	3,33	2,33
Zn	36,67	39,67	40,00	31,33	41,67	43,33	41,00	20,00
Mn	40,67	48,67	52,33	38,67	38,33	47,67	54,00	24,67
B	47,94	51,22	55,43	55,29	44,66	54,85	48,93	52,76

Valores médios obtidos a partir da análise de cinco amostras compostas por tratamento, coletadas de quatro plantas por parcela.

Uma maior concentração de nutrientes nos tecidos vegetais poderá ser uma indicação de maior disponibilidade de nutrientes no solo, de maior exigência das espécies em relação aos nutrientes, ou de melhor aproveitamento do ambiente edáfico, por uma espécie em comparação a outras que apresentam menores concentrações (Haridasan, 2008).

O mesmo autor relatou que para o *Pinus* e o *Eucalipto*, a faixa de teores de cálcio considerados como adequados varia de 3-5 g kg⁻¹ a 6-10 g kg⁻¹, respectivamente.

Estes resultados corroboram os encontrados por Fogaça (2010), que também estudou mudas de cedro australiano. Foi verificado que os teores e acúmulos de macronutrientes seguiram a seguinte ordem decrescente, sendo: N>K>Ca>P>Mg. Entretanto, os autores verificaram que a omissão de K foi a que mais afetou o crescimento em altura.

Batista (2014), também verificou que a ordem decrescente dos macronutrientes acumulados na parte aérea de mudas de quatro clones de cedro australiano cultivadas em solução nutritiva foi: N > K > Ca > P > S > Mg.

De acordo com Furlani (2004), os teores de cálcio nas plantas variam de 5

a 80 g kg⁻¹ de massa seca, considerando-se concentrações entre 10 e 50 g kg⁻¹ como adequadas para o crescimento normal das plantas, dependendo da espécie e da parte da planta. Teores foliares menores de 4 g kg⁻¹ são encontrados em plantas deficientes.

Baseado nesta informação, apenas as mudas de cedro rosa dos dois últimos tratamentos (12,27 e 13,21 g kg⁻¹), apresentam teores de cálcio dentro da faixa considerada adequada, e para o cedro australiano, apenas o último tratamento com 11,74 g kg⁻¹ (Tabela 3). Mas, como cada espécie apresenta características próprias, as mudas de cedro rosa e cedro australiano apresentaram um crescimento satisfatório em todos os níveis de cálcio, não havendo diferença em função da aplicação deste nutriente. Logo, não é possível inferir com exatidão que os teores estão abaixo do necessário para o crescimento dessas plantas.

As concentrações de cálcio encontradas por Silva e Muniz (1995) em folhas de mudas de cedro rosa cultivadas em solução nutritiva sem e com deficiência deste nutriente foram, respectivamente, 15 e 3,2 g kg⁻¹.

Bundchen et al. (2013) avaliaram a concentração foliar de cinco espécies da floresta subtropical no sul do Brasil, no Parque Natural Municipal do Rio do Peixe, e verificaram que para o cedro rosa (*Cedrela fissilis*), as concentrações foliares dos macronutrientes em g kg⁻¹ foram: N (23,85); P (1,25); K (10,35); Ca (11,97); Mg (2,62), S (1,32) e dos micronutrientes em mg kg⁻¹ foram: Fe (79,5); Cu (6,25); Zn (24,92); Mn (35,75) e B (12,12). Comparando-os com os resultados obtidos no presente estudo, observa-se na tabela 3 que as concentrações de P, K, S, Fe e B nas mudas de cedro rosa foram superiores em todos os tratamentos.

Moretti et al. (2011) avaliaram as exigências nutricionais e o efeito da omissão de nutrientes no crescimento de mudas de cedro australiano e verificaram que as mudas com 150 dias cultivadas na solução nutritiva completa apresentaram os seguintes teores nutricionais: N (18,8); P (1,4); K (14,2); Ca (10,5); Mg (2,5); S (1,8); B (32,6); Cu (9,5); Zn (39,9), em g kg⁻¹ e mg kg⁻¹ para os macro e micronutrientes, respectivamente. Esses teores para o N, P, K e B foram inferiores aos obtidos no presente estudo para o cedro australiano em todos os níveis de cálcio testados.

Os níveis de cálcio exerceram influência sobre a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), comprimento (CR), diâmetro médio

das raízes (DMR), área superficial (ASR) e volume das raízes (VR) das mudas de cedro australiano e cedro rosa (Figuras 2 e 3). A MSPA apresentou um comportamento linear nas plantas de *T. ciliata* e quadrática para *C. fissilis*. As mudas de cedro rosa produziram mais biomassa que o cedro australiano, no entanto, o nível que proporcionou maior média foi 0,88 g L⁻¹.

A MSR das plantas variou em função das doses de cálcio, com comportamento quadrático, sendo 0,57 g L⁻¹ o nível de cálcio que resultou na menor produção de biomassa das raízes. O diâmetro médio das raízes das duas espécies aumentou de forma linear com o aumento das doses de Ca.

Para o cedro rosa, a concentração de 0,88 g L⁻¹ de cálcio é a mais recomendada, pois é a dose de produção máxima de MSPA e já está acima do ponto de mínima da MSR.

As saturações por bases influenciaram positivamente no desenvolvimento e produção inicial do pinhão manso em Latossolo Vermelho do Cerrado. As maiores produções de MSPA e MSR nessas mudas foram observadas na saturação por base de 56,14 e 47,12% respectivamente, de acordo com estudos desenvolvidos por Silva et al (2011). Plantas com sistema radicular mais robusto com maior quantidade de raízes e conseqüentemente maior massa seca, tendem a proporcionar aumento na sobrevivência e estabelecimento em condições de campo.

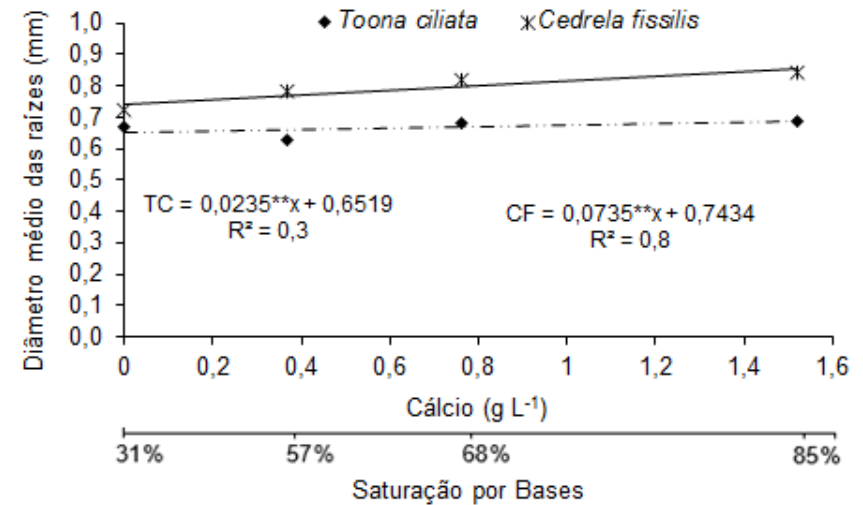
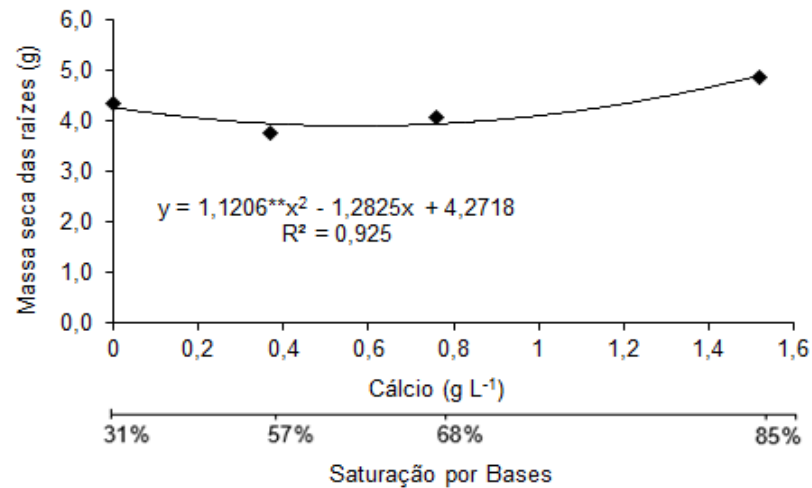
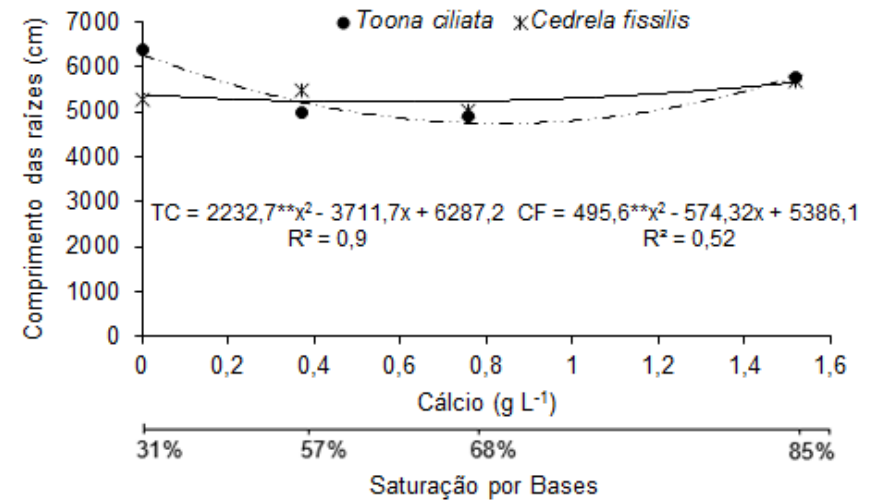
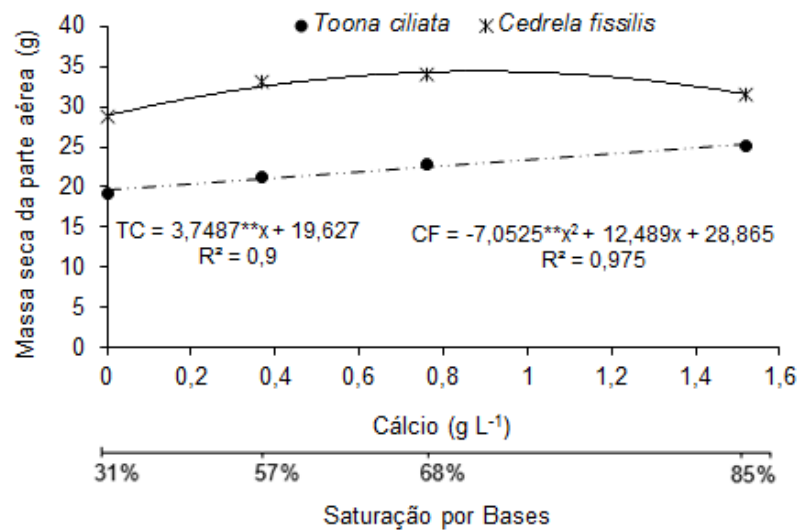


Figura 2: Massa seca da parte aérea e sistema radicular, comprimento e diâmetro médio das raízes de mudas de cedro australiano e rosa, sob níveis crescentes de cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 $g L^{-1}$) e respectivas saturações por base de 31%, 57%, 68% e 85%, aos 120 dias após o plantio em vasos, em casa de vegetação.

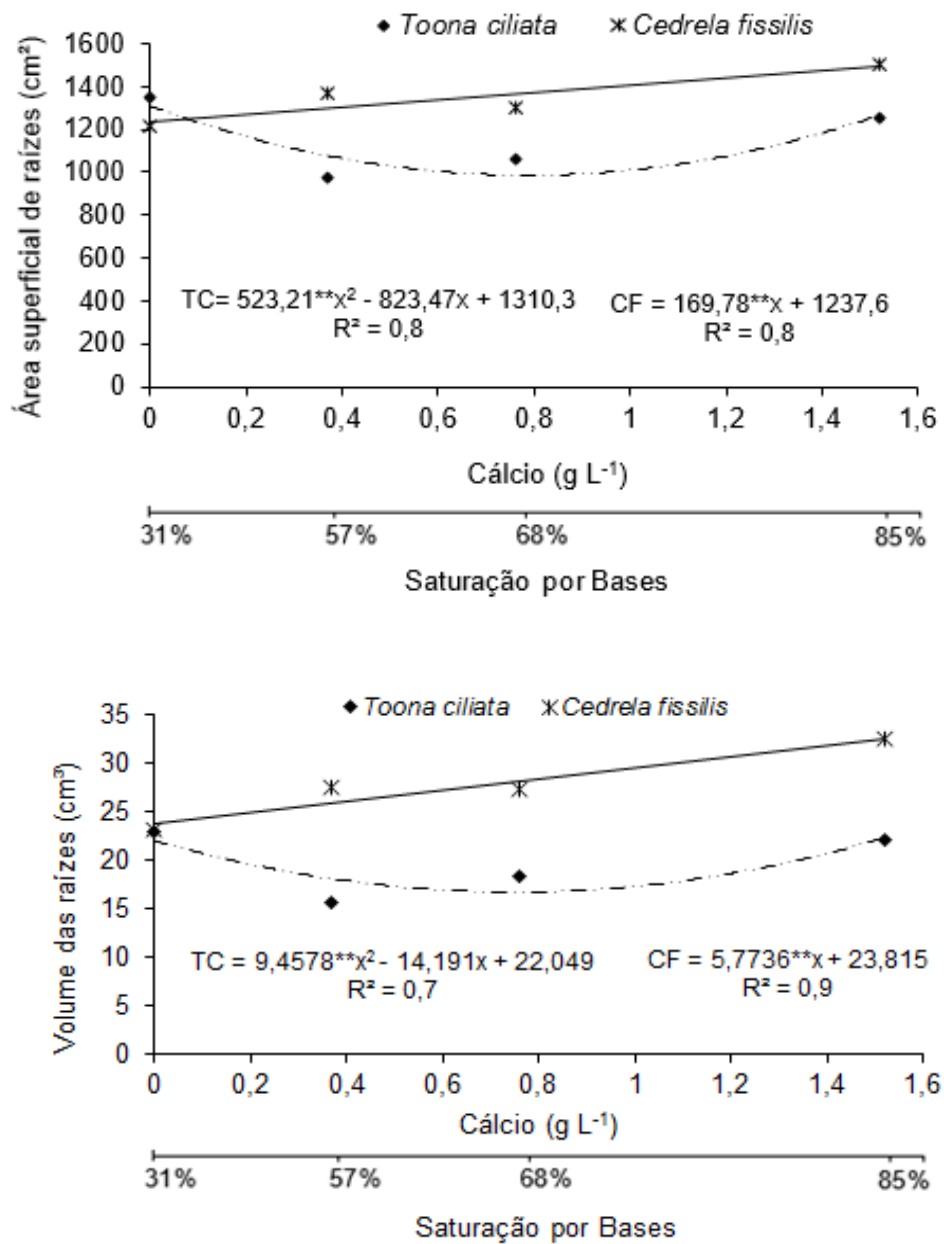


Figura 3: Área superficial e volume de raízes de cedro australiano (*T. ciliata*) e cedro rosa (*C. fissilis*), submetidas a níveis crescentes de cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹) e respectivas saturações por base de 31%, 57%, 68% e 85%, aos 120 dias após o plantio em vasos, em casa de vegetação.

Braga et al. (2015), avaliaram a influência da saturação por bases (20, 40, 80 e 100%) sobre o crescimento inicial e a qualidade de mudas de cedro australiano em casa de vegetação e observaram que esta espécie é pouco tolerante à acidez do solo e que as mudas respondem positivamente à elevação da saturação por bases. Na ausência de calagem, os autores relataram que foram

observados sintomas visuais de deficiência de Ca e Mg, que limitaram o crescimento das mudas, apontando que, com elevação da saturação por bases para 50% é possível maximizar a produtividade desta espécie. A ocorrência dos sintomas foi devido, provavelmente, aos baixos teores originais de Ca ($0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e de Mg ($0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo.

Em mudas de *Dimorphandra mollis*, Costa et al. (2007) verificaram que o aumento da saturação por bases para 70% influenciou negativamente a produção de massa seca da parte aérea e do sistema radicular. Portanto, a saturação inicial do solo (10%) foi suficiente para produção de mudas dessa espécie. Como em condições naturais a fava d'anta ocorre em solos ácidos e com baixa disponibilidade de cálcio e magnésio, pode-se inferir que esta espécie é adaptada aos baixos teores desses nutrientes.

O nível de cálcio que proporcionou menor comprimento das raízes das mudas de cedro australiano e de cedro rosa foi, respectivamente, $0,83 \text{ g L}^{-1}$ e $0,58 \text{ g L}^{-1}$ (Figura 2). Já, a área superficial e o volume das raízes, apresentaram menores médias em $0,79$ e $0,75 \text{ g L}^{-1}$ de Ca, respectivamente, para as mudas de cedro australiano (Figura 3). Nas mudas de cedro rosa, a aplicação de $1,52 \text{ g L}^{-1}$ de Ca proporcionou maior área superficial e volume das raízes, assim como ocorreu para o diâmetro médio das raízes.

A retomada de crescimento das raízes no último nível pode ter ocorrido em função da associação entre a saturação por bases e a fonte de cálcio aplicada, pois neste nível elevou-se a saturação por bases para 70% aplicando duas fontes de cálcio, o carbonato e o nitrato de cálcio, sendo este último, mais rapidamente disponibilizado. Porém, quando as mudas foram cultivadas com essa mesma saturação e fornecido apenas o carbonato de cálcio, o crescimento das raízes foi reduzido. Segundo Yamada e Abdalla (2007), o nitrato de cálcio pode fornecer rapidamente o cálcio disponível em períodos específicos de alta demanda do nutriente, já o calcário disponibiliza o Ca na solução do solo aos poucos.

As respostas positivas das variáveis biométricas quanto à elevação da saturação por bases apontam a necessidade de se fazer a correção da acidez do solo para obter mudas de qualidade. Segundo Vilela e Stehling (2015), para o plantio em campo, de mudas de cedro australiano recomenda-se elevar a saturação por bases para 60%.

O conteúdo foliar de nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foi influenciado pelos níveis de cálcio, e as mudas de cedro rosa apresentaram maiores médias em relação ao cedro australiano. Observa-se que a elevação dos níveis de cálcio reduziu o conteúdo de nitrogênio e de magnésio nas duas espécies (Figura 4).

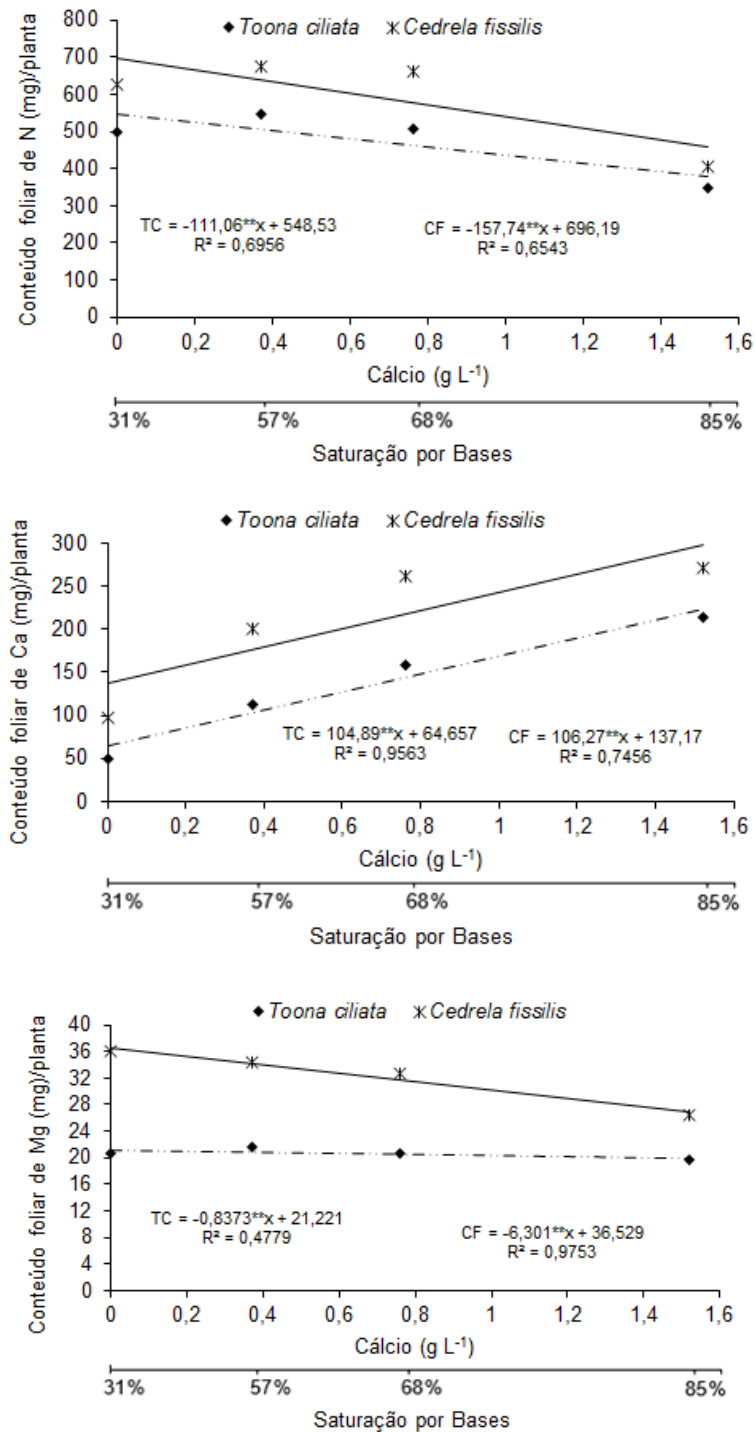


Figura 4: Conteúdo foliar de nitrogênio, cálcio e magnésio em *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*, submetidas a níveis crescentes de cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹

¹) e respectivas saturações por base de 31%, 57%, 68% e 85%, aos 120 dias após o plantio em vasos, em casa de vegetação.

Isso pode comprometer a síntese de clorofila e proteínas como a rubisco, fundamentais para a fotossíntese, provocando redução da massa seca da parte aérea conforme observado para o cedro rosa a partir de 0,88 g L⁻¹ de cálcio.

O antagonismo entre a absorção de cálcio e magnésio também foi observado por Duboc et al. (1996), ou seja, o aumento da concentração de um desses elementos no meio poderá levar à diminuição da absorção do outro. Além disso, o cálcio também compete pelos sítios de absorção com outros cátions, como N⁺, K⁺, Mg²⁺, NH⁴⁺, Fe²⁺ e Al³⁺.

Resultados contrários foram observados por Silva et al. (2007) avaliando o crescimento e a absorção de nutrientes em mudas de mogno sob o efeito de doses crescentes de corretivo. De acordo com os autores, a calagem afetou positivamente a absorção de N, P, K, Ca, Mg, Mn e negativamente a de Fe, observado de acordo com os valores dos conteúdos.

Durante o período de cultivo não foram verificados sintomas de deficiência ou toxidez de nutrientes nas folhas das mudas. Entretanto, observou-se que as raízes das mudas de cedro australiano no tratamento controle, apresentaram-se mais escurecidas em relação às mudas dos demais tratamentos.

A literatura relata que o escurecimento das raízes pode ser um sintoma de deficiência de cálcio. Por ser um elemento imóvel dentro dos tecidos vegetais, os principais sintomas de deficiência ocorrem nas partes novas da planta, afetando, por exemplo, os pontos de crescimento da raiz, resultando no aparecimento de núcleos poliploides, células binucleadas, núcleos constrictos e divisões amitóticas, causando seu escurecimento e posterior morte da raiz, podendo levar à paralisação do crescimento (Malavolta et al., 1997). Apesar de ter sido observado o escurecimento das raízes, o crescimento das mudas não foi afetado nos primeiros quatro meses após o plantio em vasos.

Freitas et al (2011) também observaram que as raízes das mudas da gramínea, *Mesosetum chaseae* (grama-do-cerrado) ficaram escurecidas quando cultivadas sob deficiência de cálcio.

Verifica-se na figura 5, que os níveis de cálcio influenciaram no conteúdo foliar de zinco (Zn) e manganês (Mn). Para o cedro rosa houve redução mais

acentuada na absorção desses nutrientes no nível mais elevado de cálcio. Os níveis de cálcio que proporcionaram a maior absorção de zinco e manganês pelas mudas de cedro australiano foram de 0,75 e 0,83 g L⁻¹ e pelas mudas de cedro rosa foram 0,50 e 0,70 g L⁻¹, respectivamente.

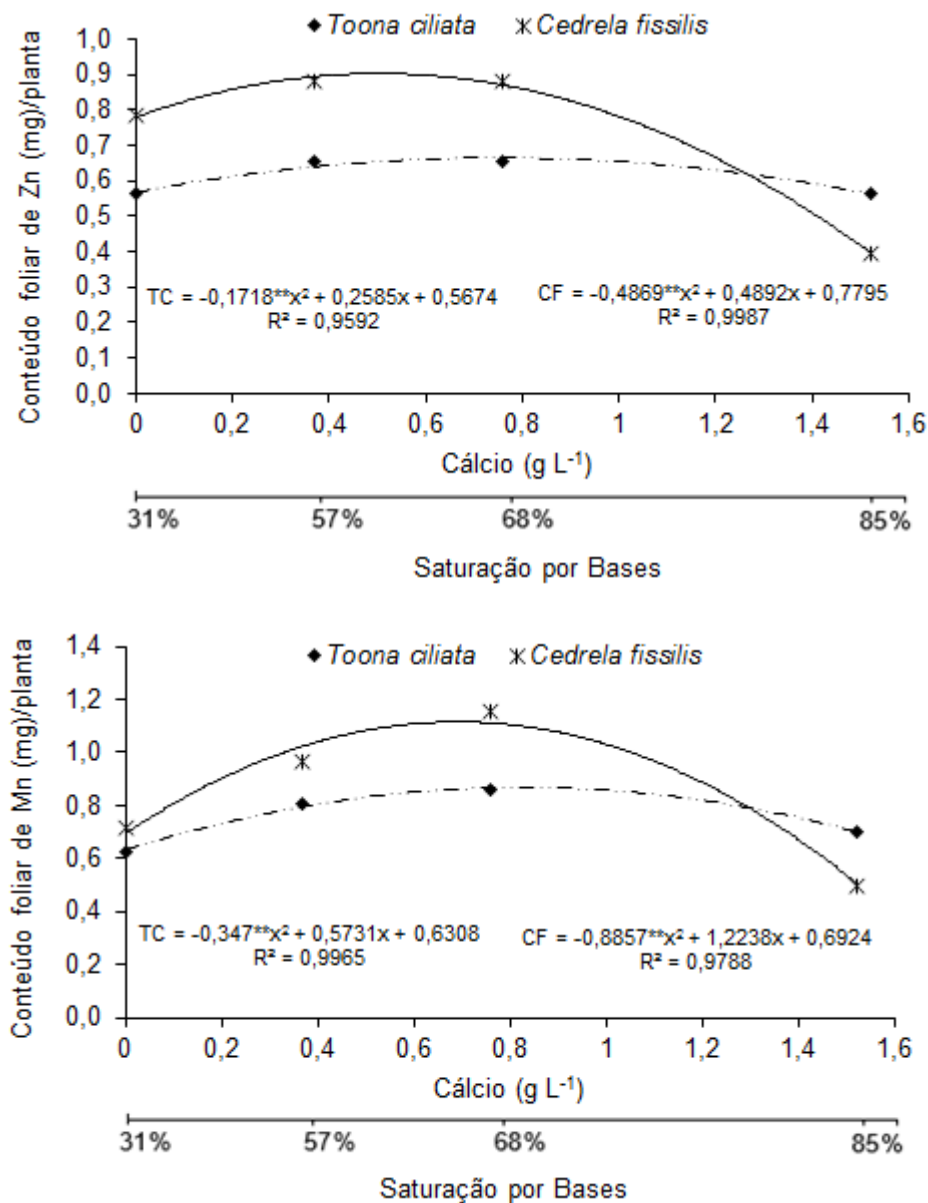


Figura 5: Conteúdo foliar de zinco e manganês em *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*, submetidas a níveis crescentes de cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹) e respectivas saturações por base de 31%, 57%, 68% e 85%, 120 dias após o plantio das mudas em vasos, em casa de vegetação.

De acordo com Silva et al. (2008), espera-se uma redução na absorção de

micronutrientes, como o zinco e manganês com o aumento das doses de corretivo, pois quanto maior o valor do pH maior será a possibilidade de precipitação desses nutrientes.

As mudas de cedro rosa apresentaram maior conteúdo foliar de enxofre (40,45 mg), ferro (2,24 mg) e cobre (0,054 mg), em relação ao cedro australiano (Tabela 4). Não houve variação nos conteúdos foliares de fósforo, potássio e boro em função dos tratamentos.

Em média, os conteúdos dos nutrientes presentes nas folhas do cedro australiano seguiram a seguinte ordem decrescente N>K>Ca>P>Mg>S>Fe>B>Mn>Zn>Cu. Para o cedro rosa, apenas a ordem do S>P>Mg mostrou-se diferente (Figuras 4, 5 e Tabela 4).

Tabela 4: Conteúdo foliar de fósforo, potássio, enxofre, ferro, cobre e boro em cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), em função dos níveis de adubação com cálcio, aos 120 dias após o plantio das mudas em vasos, em casa de vegetação.

Nutrientes	Espécies	Níveis de Cálcio (g L ⁻¹)				Média	CV (%)
		0	0,37	0,76	1,52		
P	<i>T. ciliata</i>	30,91	33,07	32,07	28,12	31,04 a	19,0
	<i>C. fissilis</i>	31,68	34,57	34,79	28,89	32,48 a	
K	<i>T. ciliata</i>	5205,2	2878,7	2353,6	6594,4	4257,9 a	48,6
	<i>C. fissilis</i>	4463,9	5150,4	5529,3	5652,4	5199,0 a	
S	<i>T. ciliata</i>	21,72	20,85	21,26	16,15	19,99 b	27,1
	<i>C. fissilis</i>	38,57	39,08	46,26	37,93	40,45 a	
Fe	<i>T. ciliata</i>	1,46	1,82	1,77	2,06	1,77 b	33,7
	<i>C. fissilis</i>	1,88	2,88	2,38	1,82	2,24 a	
Cu	<i>T. ciliata</i>	0,031	0,037	0,045	0,036	0,037 b	49,5
	<i>C. fissilis</i>	0,044	0,053	0,072	0,048	0,054 a	
B	<i>T. ciliata</i>	0,73	0,82	0,95	0,99	0,88 a	29,1
	<i>C. fissilis</i>	0,84	1,11	1,04	1,06	1,02 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de F (5%).

Quanto à eficiência de uso dos nutrientes, observa-se na Tabela 5 que o potássio, o enxofre, o ferro e o boro foram influenciados apenas pelas espécies, em que o cedro australiano foi mais eficiente no uso do enxofre e boro, enquanto o cedro rosa no uso do potássio e ferro.

Tabela 5: Eficiência no uso de potássio, enxofre, ferro e boro, em $g^2 mg^{-1}$ em *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis* em função de níveis de adubação com cálcio, aos 120 dias após o plantio em vasos, em casa de vegetação.

Nutrientes	Espécies	Níveis de Cálcio ($g L^{-1}$)				Média	CV (%)
		0	0,37	0,76	1,52		
K	<i>T. ciliata</i>	0,63	0,72	0,79	0,79	0,73 b	20,9
	<i>C. fissilis</i>	0,77	0,86	0,86	0,85	0,84 a	
S	<i>T. ciliata</i>	11,2	16,0	15,3	26,6	17,3 a	58,3
	<i>C. fissilis</i>	9,5	10,8	10,0	11,1	10,4 b	
Fe	<i>T. ciliata</i>	162,9	151,7	162,7	169,0	161,6 b	28,8
	<i>C. fissilis</i>	191,2	159,5	196,1	244,9	197,9 a	
B	<i>T. ciliata</i>	325,7	336,3	313,7	366,5	428,9 a	28,2
	<i>C. fissilis</i>	444,6	385,2	449,5	396,4	335,5 b	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de F (5%).

A eficiência de utilização expressa a capacidade de uma planta em empregar os nutrientes absorvidos, na síntese de biomassa. Essa eficiência pode variar em decorrência de diferenças genótípicas, bem como da interação genótipo-ambiente. De acordo com Fageria e Baligar (1993), mecanismos fisiológicos e morfológicos também estão envolvidos na resposta ao uso eficiente de nutrientes pelas plantas, tais como alta taxa de fotossíntese, manutenção normal do metabolismo com baixo teor de nutrientes nos tecidos, sistema radicular eficiente e alta relação entre raízes e parte aérea.

Os níveis de cálcio influenciaram nas respostas da eficiência no uso do nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, conforme gráficos apresentados na figura 7. Observa-se que, com exceção da eficiência no uso do cálcio, nos demais nutrientes, as duas espécies apresentaram maior eficiência de uso à medida que aumentava a quantidade de cálcio no solo, sendo que o cedro rosa foi mais eficiente que o cedro australiano no uso do nitrogênio e fósforo, ou seja, apresentou maior capacidade de convertê-los em biomassa.

O fato das mudas terem apresentado menor conteúdo de nitrogênio e magnésio à medida que aumentava a quantidade de cálcio no solo (Figura 4), sem influenciar nos dados biométricos, resultou em elevada eficiência de utilização conforme pode ser observado na figura 7. Logo, o plantio pode ser recomendado para solos com baixa concentração desses nutrientes.

Silva et al. (1983) também relatam que em solos com baixa fertilidade natural é recomendável o uso de espécies com grande eficiência de utilização de nutrientes, que proporcionem maior produção de biomassa.

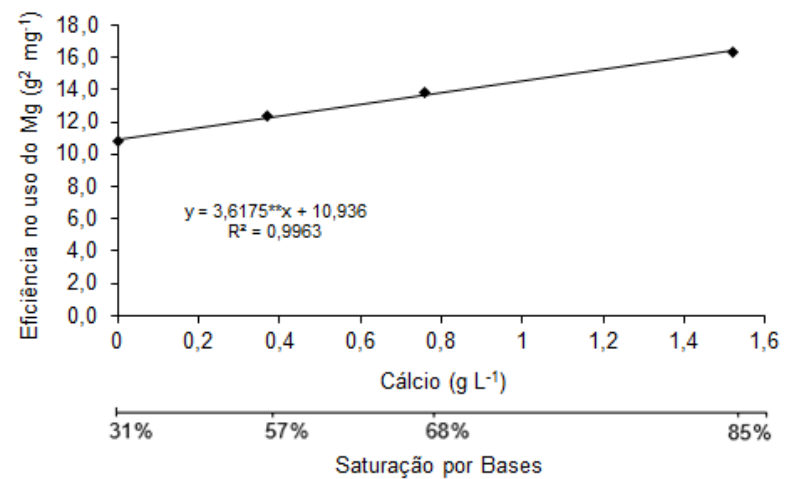
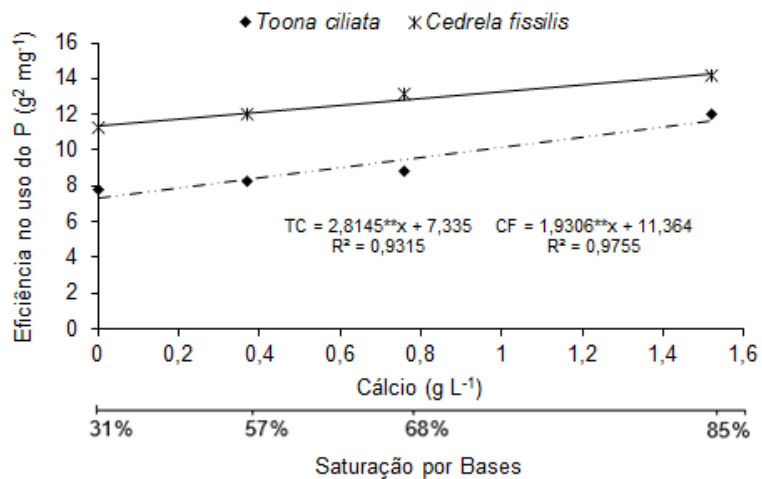
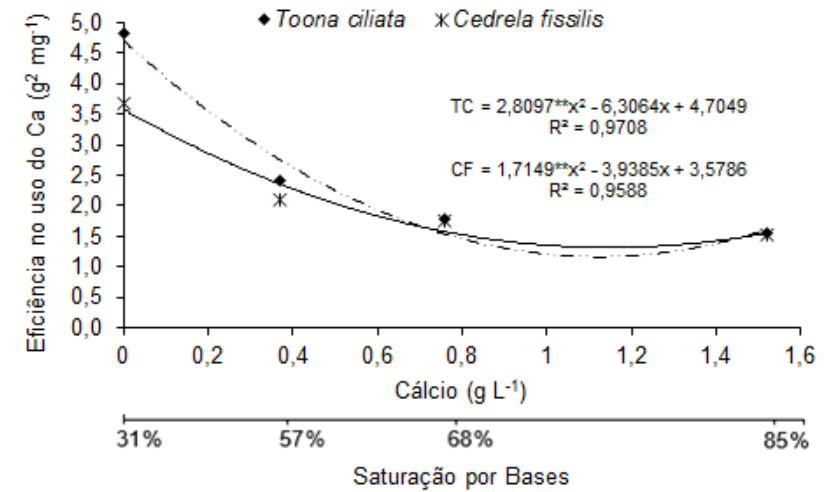
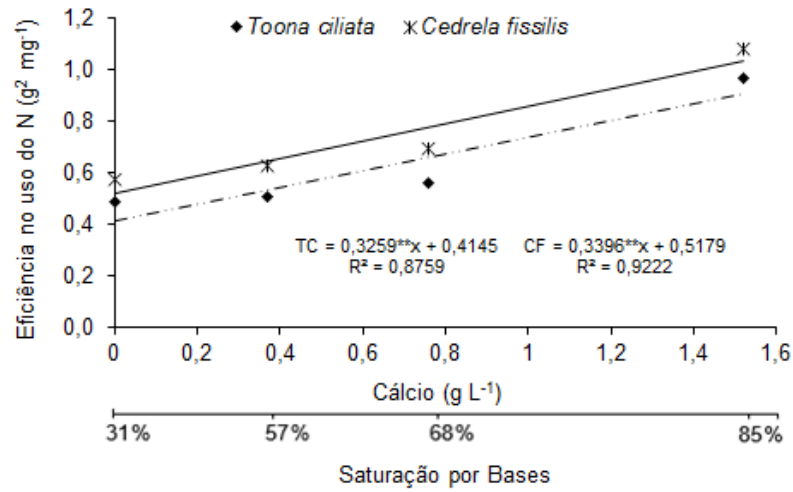


Figura 7: Eficiência no uso em g² mg⁻¹ dos macronutrientes, nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio em *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis* em função de níveis de adubação com cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹) e respectivas saturações por base de 31%, 57%, 68% e 85%.

O nitrogênio é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento. Barros et al. (1997), relataram que o nitrogênio e o fósforo são nutrientes importantes para promover o rápido crescimento radicular do eucalipto na fase de muda.

Na figura 7 é possível observar também que quanto maior a quantidade de cálcio aplicado no solo, menos eficiente foi o uso deste nutriente pelas folhas das duas espécies. Os níveis de cálcio que resultaram em menor eficiência de uso deste nutriente pelas mudas de cedro australiano e cedro rosa foram, respectivamente, 1,12 e 1,15 g L⁻¹.

Segundo Silva et al. (2006), as espécies apresentam estratégias diferenciadas quanto ao acúmulo e à utilização dos nutrientes, e nem sempre o maior acúmulo de determinado nutriente significa maior eficiência no seu uso. De acordo com Barros (1986), a eficiência de utilização de nutrientes pode variar à medida que a disponibilidade de nutrientes no solo se altera. Em geral, a maior eficiência ocorre com a redução da disponibilidade dos nutrientes no solo.

A eficiência no uso de nutrientes e a capacidade para produzir grandes quantidades de biomassa em solos com menor disponibilidade de nutrientes, talvez seja um critério importante na seleção de espécies para a recuperação de áreas degradadas (Montagnini, 2001).

Silva et al. (2006) verificaram que a espécie *Vismia japurensis*, apesar de ter apresentado menores teores de nutrientes foliares, comparada com a *Bellucia grossularioides*, foi a espécie que utilizou de forma mais eficiente os nutrientes.

Tomaz et al. (2003) verificaram a influência de diferentes combinações de enxertia sobre a eficiência de absorção, translocação e uso de Ca, Mg e S por mudas de *Coffea arabica* L. As combinações Catuaí/Conillon, Oeiras/Apoatã, Oeiras/Conillon, Oeiras/ EMCAPA, H 419/Conillon, H419/EMCAPA, H 514/Conillon e H 514/EMCAPA apresentaram redução significativa da eficiência de utilização do cálcio, variando de 33 a 60%. Os autores relatam ainda que as variações encontradas na eficiência de uso de cálcio em tecidos vegetais não são ainda bem compreendidas. Provavelmente, a causa para a baixa eficiência de utilização do cálcio seja sua inativação, devido à ligação e, ou, precipitação na forma de oxalato ou fosfato de cálcio (Behling et al. 1989).

Damato Neto et al. (2014), com o objetivo de avaliar o crescimento radicular e a eficiência de utilização, absorção e translocação de Ca e Mg em

mudas de genótipos de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, em solução nutritiva, verificaram que os genótipos Oeiras, H 419-10-3-1-5, Mundo Novo e Apatã foram os mais eficientes na utilização do cálcio. Os genótipos já citados, juntamente com o Emcapa 8141 foram os mais eficientes na utilização do magnésio.

Batista et al (2015) avaliaram, entre outros fatores, a eficiência de utilização de macronutrientes em mudas de quatro clones de cedro australiano cultivadas em solução nutritiva, e verificaram que os materiais genéticos diferem na capacidade de crescimento e de produção de biomassa, bem como na resposta nutricional. Dentre os clones avaliados, o clone HE se destacou por ser o mais produtivo e mais eficiente na absorção e na utilização de N, P, K, Ca e S, refletindo em maior crescimento vegetativo e produção de biomassa.

Bundchen et al. (2013) avaliaram a eficiência no uso de nutrientes em cinco espécies da floresta subtropical no sul do Brasil, sendo elas: *Cupania vernalis*, *Matayba elaeagnoides*, *Nectandra lanceolata*, *Cedrela fissilis* e *Jacaranda micrantha*. Para todas essas espécies, a eficiência de uso foi maior para o fósforo, o enxofre e o magnésio.

Dentre as cultivares de café avaliadas por Amaral et al. (2011), a 'Rubi MG-1192' destaca-se quanto à eficiência de utilização de N, K, Mg e Zn para produção de folhas quando as plantas foram adubadas com 0,4 vezes do nível recomendado.

Conforme observado nas Figuras 4 e 5, os conteúdos foliares de N, Mg, Zn e Mn foram reduzidos com o aumento dos níveis de cálcio para as duas espécies. Isso indica que o Ca aumentou a eficiência de utilização desses nutrientes, pois houve aumento da massa seca da parte aérea, com a redução do consumo deles. É possível confirmar essa afirmação através da figura 8 com relação à eficiência de utilização do zinco e manganês.

Observa-se também na figura 8 comportamento quadrático para o cedro rosa, com aumento da eficiência de utilização do zinco em doses superiores a $0,23 \text{ g L}^{-1}$ de Ca. Quanto à eficiência de utilização do manganês, houve incremento na eficiência do cedro australiano e do cedro rosa acima de $0,58$ e $0,51 \text{ g L}^{-1}$, respectivamente.

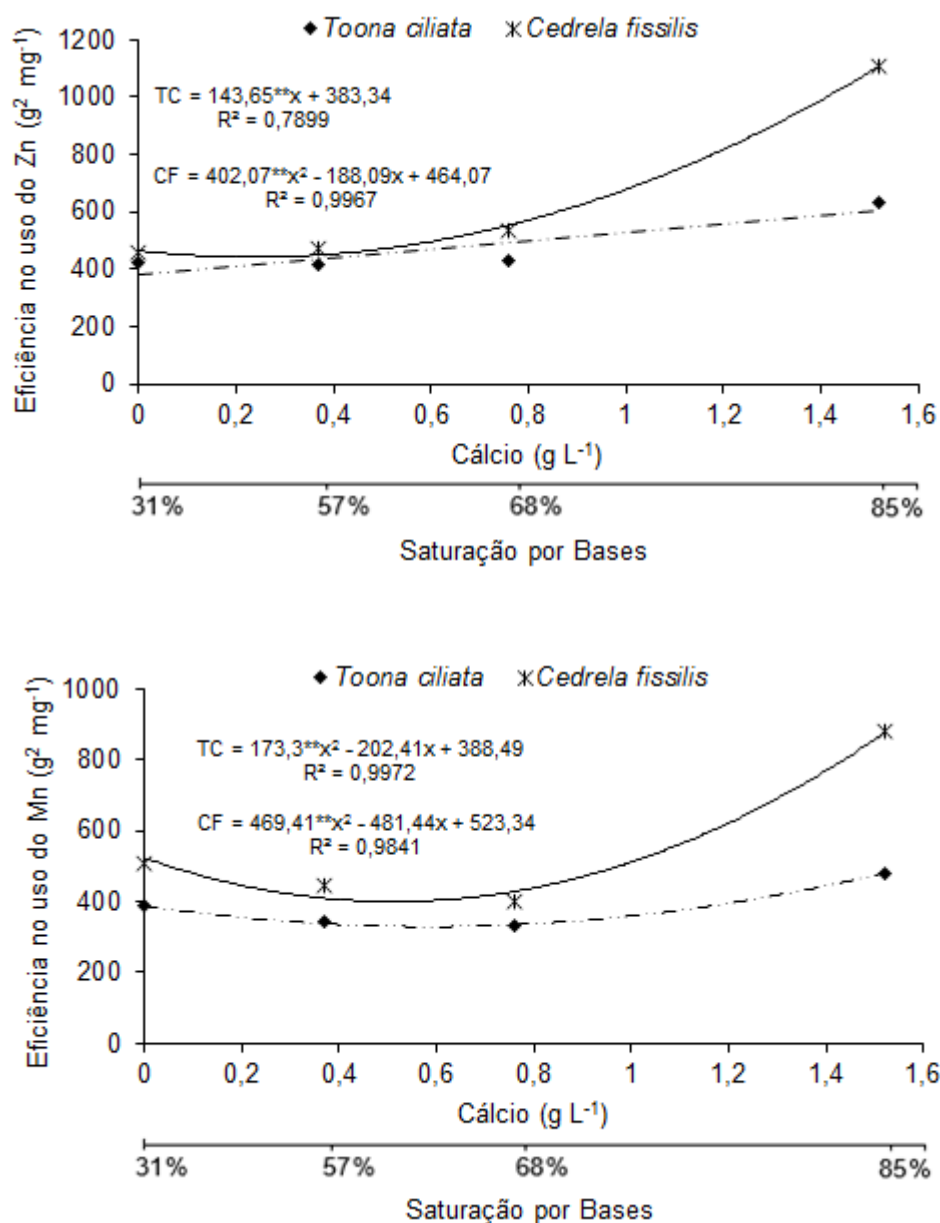


Figura 8: Eficiência no uso em $g^2\ mg^{-1}$ dos micronutrientes, zinco e manganês em *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*, em função de níveis de adubação com cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 $g\ L^{-1}$) e respectivas saturações por base de 31%, 57%, 68% e 85%, aos 120 dias após o plantio das mudas em vasos, em casa de vegetação.

Segundo Marschner (2012), a eficiência nutricional de espécies ou genótipos distintos pode estar associada a vários mecanismos e suas interações. Portanto, estudos complementares em campo fazem-se necessários para obter resultados mais conclusivos, uma vez que as mudas cultivadas em casa de vegetação estão sob condições ambientais controladas.

CONCLUSÕES

Os níveis de cálcio não afetaram a sobrevivência, a altura, o diâmetro e a área foliar das mudas.

A partir de 0,57 g L⁻¹ de cálcio houve aumento da massa seca das raízes e a partir de 0,88 g L⁻¹, redução da massa seca da parte aérea para *Cedrela fissilis*.

A ordem decrescente dos nutrientes acumulados nas folhas de *T. ciliata* foi: N>K>Ca>P>Mg>S>Fe>B>Mn>Zn>Cu. No *C. fissilis*, apenas a ordem do S>P>Mg mostrou-se diferente.

A utilização de 1,52 g L⁻¹ de cálcio, com saturação por base de 85% incrementou a eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, magnésio, zinco e manganês nas duas espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, J. F.T., Martinez, H. E. P., Laviola, B. G., Fernandes Filho, E. I., Cruz, C. D. (2011) Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, 41 (4): 621-629.
- Barros, N. F. (1986) Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 112-120.
- Barros, N. F., Neves, J. C. L., Novais, R. F. (1997) Nutrição e adubação de eucalipto. *Inf. Agropec.*, 18:70-75.
- Batista, R. O. (2014) Cinética de absorção de nutrientes, morfologia radicular e eficiência nutricional de clones de cedro australiano. (Doutorado em Ciência do solo), Universidade Federal de Lavras – UFLA, 104p.
- Batista, R. O., Furtini Neto A. E., Decetti, S. F. C. (2015) Eficiência nutricional em clones de cedro-australiano. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 647-655

- Behling, J. P., Gabelman, W. H., Gerloff, G. C. (1989) The distribution and utilization of calcium by two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines differing in calcium efficiency when grown under low-Ca stress. *Plant Soil*, 113:189-196.
- Bernardino, D. C. S. et al. (2007) Influência saturação por base e da relação Ca: Mg do substrato sobre o crescimento inicial de jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. Ex Benth). *Revista Árvore*, 31(4): 567-573.
- Braga, M. de M., Furtini Neto, A. E., Oliveira, A. H. (2015) Influência da saturação por bases na qualidade e crescimento de mudas de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*). *Ciência Florestal*, 25 (1): 49-58.
- Bonfim-Silva, E. M., Polizel, A. C., Sousa, J. V. R., Lima, M. A., Almeida, E. R. (2011) Efeitos da saturação por bases no desenvolvimento inicial do pinhão manso em latossolo do cerrado. *Enciclopédia biosfera, Centro científico conhecer*, Goiânia, v.7, n.13, p.469-478.
- Bündchen, M., Boeger, M. R. T., Reissmann, C. B., Silva, S. L. C. (2013) Status nutricional e eficiência no uso de nutrientes em espécies arbóreas da floresta subtropical no sul do Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 41 (98): 227-236.
- Corrêa, J. B., Reis, T. H. P., Pozza, A. A. A., Guimarães, P. T. G., Janice Guedes de Carvalho (2007) Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros catuaí vermelho (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, Lavras, 2 (2): 159-167.
- Costa, C. A., Souza, G. A., Alves, D. S., Araújo, C. B. O., Fernandes, L. A., Martins, E. R., Sampaio, R. A., Lopes, P. S. N. (2007). Saturação por bases no crescimento inicial e na produção de flavonóides totais da fava-d'anta. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 25 (1):49-52.
- Cruz, C. A. F., Paiva, H. N., Gomes, K. C. O., Guerrero, C. R. A. (2004) Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). *Scientia Forestalis*, Piracicaba, (66): 100-107.
- Damato Neto, J., Santos, M. A., Soares, A. C., Matos Neto, F. C., Souza C. M.

- (2014) Avaliação do sistema radicular e eficiência nutricional de cálcio e magnésio em mudas de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. *Revista Verde Pombal*, v 9, n. 3, p. 307-312.
- Duboc, E., Ventorin, N., Vale, F. R. do, Davide, A. C. (1996) Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var *stilborcarpa* (Hayne) Lee et Lang.). *Revista Cerne*, 2 (1): 01-12.
- Duncan, R. R., Baligar, V. C. (1990) Genetics and physiological basis of nutrient uptake and use efficiency. In: Baligar, V. C., Duncan, R. R., (eds.) *Crops as enhancers of nutrient use*. New York, Academic Press, p.3-35.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. (1993) Screening Crop Genotypes For Mineral Stresses. In: Duncan, R. R., Baligar, V. C. (org.). *Adaptation of plants to soil stresses*. Lincoln, USA: Universidade de Nebraska/Intsormil, p. 142-159.
- Fageria, N. K. (1998) Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2: 6-16, 1998.
- Favare, L. G. de, Guerrini, I. A., Backes, C. (2012) Níveis crescentes de saturação por bases e desenvolvimento inicial de Teca em um latossolo de textura média. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 22 (4): 693-702.
- Freitas, D. A. F., Gomide, P. H. O., Rufini, M., Penha, H. G. V., Cardoso, E. L., Silva, M. L. N., Santos, S. A., Carvalho, J. G. (2011) Sintomas Visuais de deficiências nutricionais em grama-do-cerrado (*Mesosetum chaseae*). Corumbá: Embrapa Pantanal, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Pantanal nº 110) 17p.
- Furtini Neto, A. E., Resende, A. V., Vale, F. R., Faquin, V. Fernandes, L. A. (1999) Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas na fase de muda. *Cerne*, Lavras, 5 (2): 1-12.
- Gomes, K. C. de O., Paiva, H. N. de, Neves, J. C. L., Barros, N. F. de, Silva, S. R. (2008) Crescimento de mudas de garapa em resposta à calagem e ao fósforo. *Revista árvore*, Viçosa, 32 (3): 387-394.

- Gonçalves, J. L. M., Nogueira Junior, L. R., Ducatti, F. (2008) Recuperação de solos degradados. In: Kageyama, P. Y. et al. (Org.). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: FEPAF. p. 111-163.
- Haridasan, M. (2005) Competição por nutrientes em espécies arbóreas de cerrado. In: Scariot, A., Souza-Silva, J. C., Felfini, J. M. (orgs). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 169-178.
- Jones Jr., J. B., Wolf, B., Mills, H. A. (1991) *Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Athens (USA): Micro - Macro Publishing. 213p.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., Oliveira, S. A. (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.
- Montagnini, F. (2001) Nutrient considerations in the use of silviculture for land development and rehabilitation in the Amazon. In: McClain, M. E., R. L. Victoria & J. E Richey. (Eds.) Biogeochemistry of the Amazon basin and its role in a changing world. Oxford University Press, New York. p. 106-121.
- Marschner, H. (2012) Mineral nutrition of higher plants. 3.ed. San Diego: Academic Press, 651 p.
- Moretti, B. S., Furtini Neto, A. E., Pinto, S. I. C., Furtini, I. V., Magalhães, C. A. S. (2011) Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Cerne*, Lavras, 17 (4):453-463.
- Oliveira, T. P. F., Barroso, D. G., Lamônica, K. R., Carneiro, J. G. A., Oliveira, M. A. (2015) Productivity of polyclonal minigarden and rooting of *Handroanthus heptaphyllus* Mattos minicuttings. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (4): 2423-2432.
- Siddiqi, M. Y., Glass, A. D. M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 4: 289-302.
- Silva H. D., Poggiani F., Coelho L. C. (1983) Eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus*. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n.

6/7, p. 1-8.

- Silva, M. A. G., Muniz, A. S. (1995) Exigências nutricionais de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Velloso) em solução nutritiva. *Revista Árvore*, Viçosa, 19 (3): 415-425.
- Silva, C. E. M., Gonçalves, J. F. C., Feldpausch, T. R., Luizão, F. J., Moraes, R. R., Ribeiro, G. O. (2006) Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia central. *Acta Amazonica*, 36 (4): 503-512.
- Silva A. R. M., Tucci, C. A. F., Lima, H. N., Figueiredo, A. F. (2007) Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazônica*, 37 (2):195-200.
- Silva, A. R. M., Tucci, C. A. F., Lima, H. N., Souza, P. A., Venturin, N. (2008) Efeitos de doses crescentes de calcário na produção de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* L. Gaertn). *Floresta*, Curitiba, 38 (2): 295-302.
- Sousa, D. M. G., Miranda, L. N., Oliveira, S. A. (2007) Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R. F., Alvarez, V. V. H., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., Neves, L. C. J. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS. p. 206-274.
- Souza, J. C. A. V., Barroso, D. G., Carneiro, J. G. A. (2010) *Cedro Australiano* (*Toona ciliata*). Niterói: Programa Rio Rural, 12 p. (Manual Técnico; 21).
- Tomaz, M. A., Silva, S. R., Sakiyama, N. S., Martinez, H. E. P. (2003) Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. *Revista Brasileira Ciência Solo*, Viçosa, v.27 n.5, p.885-892.
- Vieira, C. R., Weber, O. L. dos S., Scaramuzza, J. F. (2015) Saturação por bases e doses de P no crescimento e nutrição de mudas de cerejeira (*Amburana acreana* Ducke). *Nativa*, Sinop, 03 (01): 01-09.
- Vilela, E. S., Stehling, E. C. (2012) Recomendações de plantio para cedro australiano. Bela Vista Florestal. Disponível em:

http://www.belavistaflorestal.com.br/informativos_e_documentos.php. Acesso em: Maio de 2013.

Vilela, E. S., Stehling, E. C. (2015) Recomendações de plantio para cedro australiano. Bela Vista Florestal. Disponível em: <http://belavistaflorestal.com.br/plus/modulos/conteudo/?tac=420-informacoes-tecnicas>. Acesso em: Março de 2016.

Yamada, T., Abdalla, S. R. S. (2007) Informações recentes para otimização da produção agrícola. Potafos: Informações Agronômicas n.117, p. 1-28

4.5. CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES EM MUDAS DE *TOONA CILIATA* E *CEDRELA FISSILIS* CULTIVADAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE BORO

RESUMO

O cultivo de espécies florestais com alto potencial de crescimento torna-se limitado pela falta de informações sobre suas exigências nutricionais, tanto na fase de muda, quanto no desenvolvimento em campo. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de boro sobre o crescimento, o conteúdo e a eficiência de utilização dos nutrientes em mudas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis* após o plantio, em casa de vegetação. Para isso, montou-se um experimento em blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 2 x 4: duas espécies (*Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*) e quatro níveis de boro aplicados como ácido bórico P.A. (0; 1; 2,5 e 10 mg dm³ de B), com cinco repetições e quatro plantas por parcela. Aos 120 dias de cultivo, não foi observado sintoma de deficiência ou toxidez de boro nas mudas das duas espécies. A aplicação de 10 mg dm³ de boro, que resultou na concentração de 2,64 mg kg⁻¹ desse nutriente no substrato não é recomendada para o crescimento de mudas de cedro australiano, em virtude do aparecimento de sintomas de toxidez, causando baixa sobrevivência das mudas. O cedro rosa apresentou maior crescimento, conteúdo foliar e eficiência de utilização dos nutrientes em relação ao cedro australiano. Os cedros, australiano e rosa foram mais eficientes na utilização do boro

no tratamento controle.

Palavras-chave: Adubação, espécies florestais e exigência nutricional.

ABSTRACT

The cultivation of forest species with high growth potential becomes limited by lack of information about their nutritional requirements, both in the seedling stage, and in the development field. The aim of this study was to determine the effect of the application of boron on growth, nutritional content and the efficiency of utilization of nutrients in *Toona ciliata* seedlings and *Cedrela fissilis* after planting, grown in the greenhouse. To do this, set up an experiment in randomized blocks, arranged in a factorial 2 x 4: two species (*Toona ciliata* and *Cedrela fissilis*) and four levels of boron applied as PA boric acid (0, 1, 2.5 and 10 mg dm⁻³ B), with five replications and four plants per plot. After 120 days of cultivation, there was no symptom of deficiency or boron toxicity in plants of both species. The application of 10 mg dm⁻³ boron, which resulted in the concentration of 2.64 mg kg⁻¹ in that nutrient substrate is not suitable for the growth of seedlings australian cedar, due to the onset of signs of toxicity, causing poor survival of seedlings. Cedar Rose showed higher growth, leaf content and nutrient use efficiency in relation to australian cedar. The cedars, australian and pink were more efficient in the use of boron in the control treatment.

Keywords: fertilization, forest species and nutritional requirements.

INTRODUÇÃO

A utilização de espécies florestais com alto potencial de crescimento, para produção de madeira ou para recuperação de áreas degradadas e recomposição de florestas, torna-se limitada pela falta de informações sobre suas exigências nutricionais tanto no viveiro, quanto no campo (Gonçalves et al., 2012).

Segundo Barros e Novais (1990), significativos ganhos em produtividade da grande maioria das florestas de eucaliptos implantados no Brasil foram alcançados em resposta à fertilização mineral. No entanto, cada espécie tem suas peculiaridades quanto à demanda nutricional, e esta depende da sua taxa de crescimento e da

eficiência com que converte os nutrientes absorvidos em biomassa (Barros et al., 2000).

Portanto, para garantir a expansão e o sucesso na produção de mudas e nos povoamentos implantados com o cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), estudos nutricionais necessitam ser realizados para adequação do manejo dessas espécies.

Dentre os nutrientes essenciais para as plantas, o boro é um micronutriente que atua na migração de carboidratos das folhas para os tecidos armazenadores como os grãos, as raízes e os caules (Malavolta *et al.*, 1993), na síntese de parede celular (Brown e Hu, 1997), mais especificamente na síntese dos seus componentes, como a pectina, a celulose e a lignina (Marschner, 2012), no desenvolvimento das gemas e das extremidades radiculares (Yamada, 2004), na regulação de hormônios de crescimento (ácido indolacético), na síntese de ácidos nucleicos e, conseqüentemente, de proteínas (Malavolta, 2006).

O boro é absorvido em maior intensidade pelas plantas no início do crescimento, sendo pequena a sua mobilidade de redistribuição dos tecidos velhos para os jovens. As concentrações tidas como adequadas para o crescimento normal de plantas superiores variam de 30 mg kg⁻¹ a 50 mg kg⁻¹ de massa seca, enquanto que, em plantas deficientes, as concentrações foliares são menores que 15 mg kg⁻¹ (Pais e Jones Junior, 1996; Furlani, 2004).

Como cada nutriente tem uma função específica no metabolismo das plantas, desequilíbrios em suas proporções podem causar deficiência ou excesso de outros, causando limitações ao crescimento das plantas ou mesmo sua morte (Dechen e Nachtigall, 2007). Por isso, é necessário que haja disponibilidade e absorção dos nutrientes em proporções adequadas, via solução do solo ou, como suplementação, via foliar. Em condições de deficiência de boro, tanto as novas brotações como o crescimento de novas raízes são paralisados.

Segundo Baligar e Fageria (2015), o uso de nutrientes é influenciado pelo clima, pelo solo e pela planta. Em geral, a eficiência na utilização de nutrientes pelas plantas é inferior a 50%. Assim, grande parte dos nutrientes aplicados é perdida no sistema solo-planta. Dessa forma, melhorar a eficiência de utilização de nutrientes é essencial do ponto de vista econômico e ambiental. As estratégias mais importantes

para melhorar essa eficiência são a determinação da quantidade adequada, da fonte eficaz, da época e do método de aplicação.

Uma vez que as espécies que ocorrem na mesma área podem apresentar variação na capacidade de absorver e utilizar os nutrientes disponíveis (Wood et al., 2011), este trabalho tem como objetivo verificar o efeito da aplicação de boro sobre o crescimento, o conteúdo nutricional e a eficiência de utilização dos nutrientes em mudas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis* após o plantio, cultivadas em casa de vegetação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre os meses de janeiro e maio de 2014 em casa de vegetação protegida com telado antiafídeo localizada na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no município de Campos dos Goytacazes-RJ.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas espécies (*Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*) e quatro níveis de boro (0; 1; 2,5 e 10 mg dm³ de B), com cinco repetições e quatro plantas por parcela. A fonte de boro utilizada foi o ácido bórico P.A., aplicado diretamente no solo, como solução nutritiva, um dia antes do plantio das mudas.

Ao longo dos 120 dias de experimento foram registradas a temperatura e umidade relativa, na casa de vegetação, por meio de data logger modelo RHT10 (Extech Instruments), com programação de leitura a cada hora. Na figura 1 estão apresentados semanalmente os dados mínimos, médios e máximos da temperatura e umidade relativa.

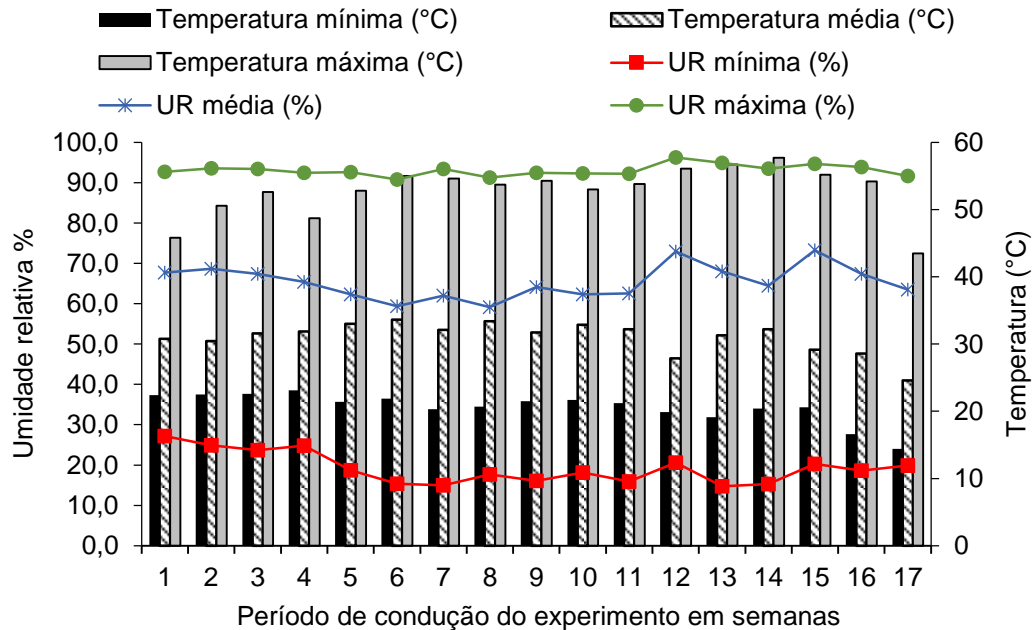


Figura 1: Temperatura (°C) e umidade relativa (%) mínima, média e máxima semanais registradas na casa de vegetação durante o período de condução do experimento.

As mudas de cedro australiano e cedro rosa utilizadas no experimento foram propagadas, respectivamente, por miniestaquia e por sementes. As miniestacas foram provenientes de um minijardim clonal com 14 meses de exploração e as sementes, provenientes de uma Área de Produção de Sementes (APS), localizada em Venda Nova do Imigrante, ES, adquiridas por meio da empresa Caiçara Comércio de Sementes Ltda, em Brejo Alegre, SP.

As miniestacas foram preparadas e estaqueadas no mesmo dia em que as sementes foram colocadas para germinar, ambas em tubetes de 180 cm³, contendo substrato florestal comercial, à base de casca de pinus decomposta, e adubo de liberação lenta (15-09-12), na concentração de 8 g Kg⁻¹ de substrato, cultivadas por 90 dias.

Como substrato de cultivo das plantas, foi utilizada mistura de terra de barranco e areia, na proporção 1:1. Antes da mistura, a areia foi purificada durante três dias em ácido clorídrico P.A. Para isso, foram utilizados 500 mL do produto a cada 50 kg de areia e, em seguida o volume foi completado com água até que toda a

areia estivesse submersa. Decorrido esse tempo, a areia foi lavada com água corrente, até que o pH se estabilizasse em torno de 5,5 e no final foi lavada com água deionizada.

Após a mistura do substrato e preenchimento dos recipientes de cultivo (sacos plásticos com 2 dm³), os níveis de boro (0; 1; 2,5 e 10 mg dm³ de B) foram aplicados no solo, como solução nutritiva de ácido bórico P.A, um dia antes do plantio das mudas, resultando em substratos com 0,20; 0,37; 0,71 e 2,64 mg kg⁻¹, conforme consta na Tabela 1.

No dia do plantio, as mudas produzidas em tubetes foram avaliadas quanto a altura e diâmetro do colo, e em seguida, o sistema radicular foi lavado em água para retirada do excesso de substrato e as mudas foram transferidas para sacos plásticos, as quais permaneceram por 120 dias. As mudas foram adubadas com 1,30g de N; 1,41g de P₂O₅; 0,94 g de K₂O; 1,56 g de Ca²⁺; 0,94 g de S; 28 mg de Zn e 2,5 mg de Cu, aplicados como nitrato de amônio P.A. [(NH₄)(NO₃)], superfosfato simples [Ca(H₂PO₄)₂.H₂O + CaSO₄.2H₂O], cloreto de potássio P.A. (KCl), sulfato cúprico pentahidratado P.A. (CuSO₄.5H₂O) e sulfato de zinco P.A. (ZnSO₄). As adubações foram parceladas em três aplicações (plantio, 30 e 60 dias) na forma de solução nutritiva, exceto o superfosfato simples, que foi aplicado diretamente no substrato (terra de barranco e areia).

A interpretação da análise do substrato foi realizada de acordo com a 5^a aproximação e as recomendações de adubação, de acordo com o recomendado pela literatura para culturas florestais.

Durante todo o período experimental, as mudas foram irrigadas duas ou três vezes por dia com água deionizada, conforme a necessidade.

O substrato utilizado foi coletado no plantio e ao final do experimento para ser analisado quimicamente. Os resultados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Características químicas da areia e do substrato (terra de barranco e areia) utilizados para cultivo de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), avaliados no dia do plantio e ao final de 120 dias de cultivo.

Doses de Boro (mg dm ⁻³)	pH	P*	K*	Ca	Mg	Al	H +Al	Na	C	MO	S.B.	T	t	M	V	Fe	Cu	Zn	Mn	S	B
		- mg kg ⁻¹ -				cmol _c kg ⁻¹			%	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			---	---						
-----Areia purificada-----																					
	4,6	3	3	0,2	0,1	0,2	1,0	0,01	0,39	6,7	0,3	1,3	0,5	39	24	13,0	0,1	0,1	0,8	9,8	0,14
-----Valores no dia do plantio-----																					
0	5,3	10	88	2,2	1,4	0,0	2,4	0,17	1,01	17,4	4,0	6,4	4,0	0	62	28,0	2,3	2,6	43,8	18,7	0,20**
1,0	5,4	11	93	2,2	1,4	0,0	2,4	0,12	1,01	17,4	4,0	6,4	4,0	0	62	31,0	2,6	2,7	43,2	12,8	0,37
2,5	5,3	10	86	2,6	1,6	0,0	3,0	0,21	0,92	15,9	4,6	7,6	4,6	0	61	25,0	2,1	2,4	51,0	10,9	0,71
10,0	5,1	10	98	2,2	1,4	0,0	2,1	0,17	0,73	12,6	4,0	6,1	4,0	0	66	28,0	2,4	2,6	51,6	17,7	2,64
----- <i>Toona ciliata</i> (aos 120 dias após o plantio)-----																					
0	4,5	25	149	2,1	0,6	0,3	3,5	0,02	0,82	14,1	3,1	6,6	3,4	9	47	32,0	2,1	3,2	55,8	38,5	0,12
1,0	4,5	26	138	2,1	0,5	0,3	3,1	0,01	0,82	14,1	3,0	6,1	3,3	9	49	32,0	2,2	2,9	51,0	50,9	0,15
2,5	4,4	22	176	2,0	0,5	0,3	3,0	0,02	0,77	13,3	3,0	6,0	3,3	9	50	32,0	2,1	3,3	62,4	52,4	0,16
10,0	4,4	38	138	2,2	0,4	0,4	4,1	0,02	0,87	15,0	3,0	7,1	3,4	12	42	40,0	2,4	4,2	61,8	59,3	0,19
----- <i>Cedrela fissilis</i> (aos 120 dias após o plantio)-----																					
0	4,7	15	148	2,8	1,5	0,2	3,3	0,07	0,82	14,1	4,7	8,0	4,9	4	59	31,0	2,4	2,9	63,6	56,2	0,19
1,0	4,7	30	158	2,9	1,3	0,2	3,6	0,04	0,92	15,9	4,6	8,2	4,8	4	56	34,5	2,8	3,2	63,0	59,4	0,23
2,5	4,6	19	138	2,5	1,0	0,2	2,7	0,04	0,82	14,1	3,9	6,6	4,1	5	59	30,0	2,3	2,8	60,0	73,6	0,22
10,0	4,6	21	172	2,8	1,1	0,2	3,7	0,03	1,06	18,3	4,4	8,1	4,6	4	54	36,0	2,7	3,2	69,0	56,0	0,44

* Extrator Carolina do Norte. **Interpretação segundo a 5ª aproximação de Minas Gerais (B)=baixo teor disponível no solo.

A figura 2 mostra a disponibilidade de boro no substrato em relação ao que foi adicionado. Observa-se que houve um comportamento linear, indicando que a quantidade disponível foi proporcional à aplicada.

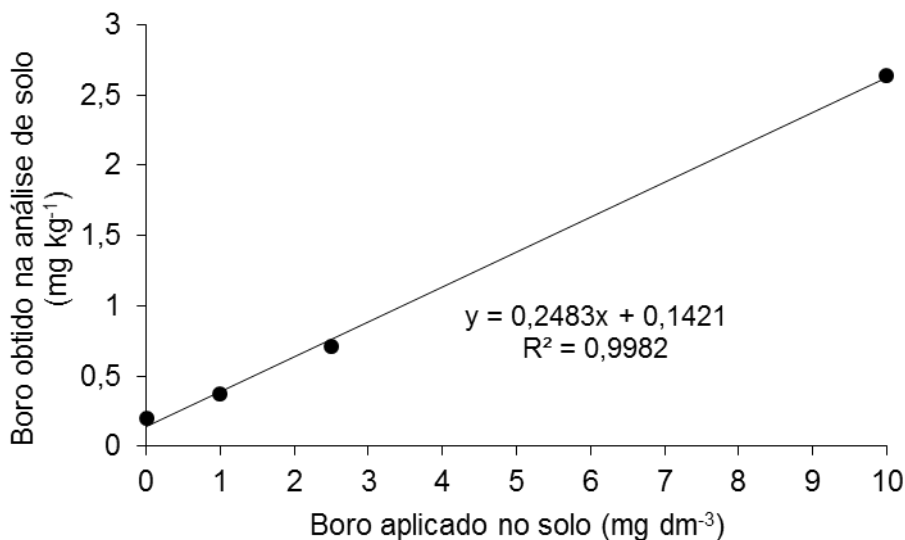


Figura 2: Disponibilidade de boro (mg kg^{-1}) no substrato (solo + areia) obtida pela análise química em relação às doses de boro aplicadas (mg dm^{-3}).

Aos 120 dias após a aplicação dos tratamentos, foram avaliadas a altura, o diâmetro, a área foliar e a massa seca da parte aérea. A partir das medidas de altura e diâmetro, avaliados no dia do plantio e no final do experimento, foi calculado o incremento.

Para medição da altura e diâmetro, foram utilizados, respectivamente, uma régua e um paquímetro digital. A área foliar foi determinada pelo medidor de área foliar eletrônico de bancada (LI-3000, LI-COR Inc.). A massa seca da parte aérea (caule e folhas) foi determinada após secagem do material em estufa de circulação forçada, a $65^{\circ}\text{C} \pm 2$, por 72 horas, e posterior pesagem em balança analítica.

A análise de macro e micronutrientes foi realizada no Centro de Análises do Campus Dr. Leonel Miranda da UFRRJ, em Campos dos Goytacazes - RJ, conforme metodologias descritas por Malavolta et al. (1997) e Jones Jr. et al. (1991). Para isso, as folhas foram separadas do caule e trituradas em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh. As amostras foram submetidas à digestão nítrico-perclórica (HNO_3 e HClO_4) e os extratos utilizados para determinação de P,

K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn. O P foi determinado colorimetricamente pelo método azul de molibdato, o K, por espectrofotometria e o S, por turbidimetria com cloreto de bário. O Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O nitrogênio (N) foi determinado pelo método de Kjeldahl e o Boro (B), por colorimetria, pelo método da curcumina, após incineração em mufla. Com a massa seca e concentração dos nutrientes foi calculado o conteúdo de cada nutriente para comparação entre os tratamentos. A partir desses valores foi calculada a eficiência de utilização dos nutrientes nas folhas, por meio da equação: $(\text{g massa seca foliar})^2 / (\text{mg conteúdo do nutriente nas folhas})$, conforme Siddiqi e Glass (1981).

Para avaliar o sistema radicular, as raízes foram colocadas em peneiras e lavadas com água, para retirada de todo o substrato. Para determinação do comprimento total, diâmetro médio, volume e área superficial, as raízes, com exceção da pivotante para o cedro rosa foram dispostas em uma cuba de acrílico de 20 cm de largura por 30 cm de comprimento, contendo água destilada e analisada por meio do software *WinRHIZO Pro 2007a* (Régent Instr. Inc.), acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 com resolução de 400 dpis.

Posteriormente, as raízes foram retiradas das cubas e colocadas em sacos de papel, devidamente identificados, em estufa de circulação forçada a $65^{\circ}\text{C} \pm 2$ por 72 horas, para posterior pesagem em balança analítica para determinação da massa seca de raiz.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey (5%). Os dados quantitativos foram submetidos a ajustes de regressão em função dos níveis de boro testados, e os coeficientes das equações testados com o teste t de student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aproximadamente quatro dias após aplicação dos tratamentos, as folhas das mudas de cedro australiano submetidas a 10 mg dm^{-3} de boro começaram a necrosar no sentido da base para o ápice (Figura 3). Ao longo do período experimental, algumas dessas mudas rebrotaram, retomando seu crescimento.



Figura 3: Necrose em mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) após aplicação de 10 mg dm³ de boro no solo.

Na figura 4 está apresentado o efeito dos níveis de boro sobre a sobrevivência das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*). Observa-se que 10 mg dm³ de boro aplicado nas mudas de cedro australiano, que resultou na concentração de 2,64 mg kg⁻¹ desse nutriente no substrato provocou fitotoxicidade resultando, em média, em 15% de sobrevivência, inferior em relação aos demais tratamentos.

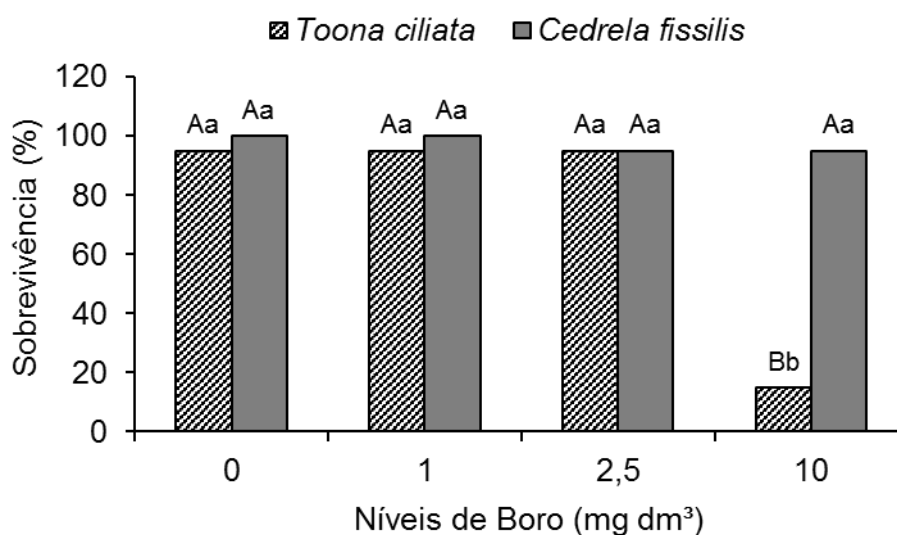


Figura 4: Sobrevivência das mudas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*, submetidas a níveis crescentes de boro aos 120 dias de condução do experimento. Letras minúsculas comparam as espécies e as letras maiúsculas comparam os tratamentos com boro. Diferenças observadas pelo teste (Tukey 5 %).

De acordo com Ribeiro et al (1999), valores entre 0,61 e 0,90 mg dm⁻³ de boro indicam boa quantidade disponível no solo. No presente estudo, utilizando o substrato (solo+areia), a aplicação de 2,5 mg dm⁻³ de boro conferiu 0,71 mg kg⁻¹ de boro disponível no substrato, ou seja, dentro da faixa recomendada, enquanto que a aplicação de 10 mg dm⁻³ de B conferiu um teor alto (2,64 mg kg⁻¹) deste nutriente disponível no solo (Figura 2), causando efeito tóxico apenas nas plantas de cedro australiano (Figura 4).

De acordo com Silveira e Higashi (2002), a fitotoxicidade de boro tem sido relatada logo após o plantio, em mudas de *Eucalyptus*. As principais causas são a aplicação localizada de boro no plantio, na forma solúvel, como boratos de sódio ou ácido bórico, ou altas doses aplicadas juntamente com o nitrogênio e o potássio na primeira adubação de cobertura.

Ferreto et al. (2015) verificaram que as doses mais elevadas de boro (5 e 10 mg dm⁻³) com e sem calcário aplicadas em mudas de *Eucalyptus urograndis* causaram toxidez extremamente severa, com perda de dominância apical e emissão de brotos na base do caule, corroborando os resultados obtidos no presente estudo. Na dose mais elevada, estes autores verificaram também que houve diminuição da massa seca da parte aérea e das raízes, em cerca de 70% e 80%, respectivamente, em relação à ausência de fertilização com boro.

Benedetti et al. (2014) verificaram que mudas de erva-mate, conduzidas em solução nutritiva, necessitam de 2,5 a 3,1 mg L⁻¹ de B para um bom crescimento.

Além do sintoma de fitotoxicidade verificado nas mudas de cedro australiano, as mudas das duas espécies apresentaram clorose seguida de necrose nas pontas dos folíolos das folhas mais velhas, independente do tratamento com boro. Este sintoma pode estar associado à temperatura, uma vez que foi registrada diversas vezes, no interior da casa de vegetação, temperaturas bem elevadas, conforme se observa na Figura 1. Demais sintomas, como encarquilhamento e clorose de folhas velhas também foram observados, porém não houve simetria e repetitividade entre as mudas, portanto não foram considerados sintomas de deficiência ou toxidez de nutrientes.

Apesar da aplicação de 10 mg dm³ de boro ter proporcionado a morte de muitas plantas, as que sobreviveram, conseguiram acompanhar o crescimento das mudas dos demais tratamentos e, como mostrado na Tabela 2, as variáveis

de crescimento não foram influenciadas significativamente pelos níveis de boro, pois provavelmente, a concentração presente no solo foi suficiente para o crescimento das mudas das duas espécies até os 120 dias de cultivo.

Tabela 2: Incremento em altura (cm) e diâmetro (mm), área foliar (cm²), massa seca da parte aérea (MSPA) (g), massa seca de raiz (MSR) (g), área de superfície de raiz (ASR) (cm²), comprimento total de raiz (CT) (cm), diâmetro médio de raiz (DMR) (mm) e volume de raiz (VR) (cm³) de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidos a níveis crescentes de boro, 120 dias após o plantio das mudas em sacos plásticos com 2 dm³, em casa de vegetação.

Nutrientes	Espécies	Níveis de Boro (mg dm ³)				Média	CV (%)
		0	1,0	2,5	10		
Altura	<i>T. ciliata</i>	9,71	9,1	10,21	12,17	10,08 b	37,4
	<i>C. fissilis</i>	22,71	20,99	28,62	21,9	23,55 a	
Diâmetro	<i>T. ciliata</i>	2,43	2,13	2,72	1,28	2,23 b	16,5
	<i>C. fissilis</i>	6,68	7,28	7,32	7,45	7,18 a	
Área foliar	<i>T. ciliata</i>	2172,68	2298,94	2238,74	2184,93	2228,14 b	17,7
	<i>C. fissilis</i>	4103,37	4263,54	4147,57	3735,76	4062,56 a	
MSPA	<i>T. ciliata</i>	12,41	12,09	13,18	11,89	12,44 b	18,6
	<i>C. fissilis</i>	22,86	25,45	25,61	21,04	23,74 a	
MSR	<i>T. ciliata</i>	3,01	2,94	3,17	3,63	3,14 b	26,4
	<i>C. fissilis</i>	3,66	3,84	3,95	3,78	3,81 a	
ASR	<i>T. ciliata</i>	727,95	775,91	810,05	866,05	794,99 b	19,9
	<i>C. fissilis</i>	990,39	993,82	982,25	964,82	982,82 a	
CT	<i>T. ciliata</i>	3403,99	3659,28	3810,14	4148,41	3755,45 a	20,7
	<i>C. fissilis</i>	4158,33	4075,97	4230,57	3994,16	4114,76 a	
DMR	<i>T. ciliata</i>	0,69	0,67	0,68	0,65	0,67 b	8,4
	<i>C. fissilis</i>	0,76	0,79	0,74	0,78	0,77 a	
VR	<i>T. ciliata</i>	12,45	13,14	13,82	14,42	13,46 b	22,2
	<i>C. fissilis</i>	19,01	19,55	18,49	18,77	18,96 a	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, dentro de cada variável não diferem entre si pelo teste de F (5%).

Houve diferença apenas entre as espécies. As mudas de cedro rosa mostraram-se superiores para todas as variáveis analisadas, exceto para o comprimento total das raízes que não apresentou diferença em relação ao cedro australiano.

Como o diâmetro médio do sistema radicular foi maior nas mudas de cedro rosa, este pode ter influenciado nos resultados de volume e massa seca das raízes, formando um sistema radicular mais robusto.

Já para as pesquisas descritas a seguir, as espécies foram influenciadas pelos níveis de boro aplicados nas mudas. Mattiello et al. (2009) avaliaram a resposta de oito clones de eucalipto ao fornecimento de diferentes doses de boro, sendo testadas soluções nutritivas com 0, 10, 20, 50 e 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro, durante 70 dias. Em baixas concentrações deste nutriente, foram observados sintomas visuais de deficiência e, em altas concentrações, não foram observados sintomas de toxidez, porém houve redução na produção de massa seca. A resposta do eucalipto ao boro na solução nutritiva depende do clone, havendo diferenças entre eles na tolerância à deficiência e toxidez e na eficiência de utilização de boro.

Ramos et al., (2009) avaliaram o efeito da aplicação de doses de boro (0; 0,25; 0,75; 2,25; e 6,25 mg kg^{-1}) no crescimento de *Eucalyptus citriodora* em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, submetidos a duas tensões hídricas (-0,033 e -0,010 MPa). Os autores concluíram que os maiores incrementos na produção de massa seca das plantas foram observados em baixas doses de B aplicadas e que a umidade do solo é um fator importante no aproveitamento deste nutriente.

Barreto et al. (2007) avaliaram o efeito do uso de boro (0; 0,135; 0,27; 0,54 mg L^{-1}) via solução nutritiva no crescimento e na produção de biomassa de seis clones comerciais de *E. grandis* x *E. urophylla*. As plantas de eucalipto com 240 dias após transplântio, responderam em crescimento e produção de biomassa da parte aérea à adubação com boro com ganhos em altura e biomassa entre 35 e 54% e entre 21 e 64%, respectivamente. As doses que promoveram maior crescimento das plantas variaram de 0,33 a 0,44 mg L^{-1} . A eficiência de uso desse nutriente variou entre os clones, sendo que os níveis críticos de boro na solução variaram de 0,09 a 0,24 mg L^{-1} para o crescimento das plantas.

Lima et al. (2003) avaliaram o efeito das doses 0; 0,1; 0,3; 0,9; 1,5 e 2,1 mg dm^{-3} de boro em solução nutritiva sobre o crescimento de paricá, verificando sintomas de deficiência deste nutriente nas folhas mais novas (clorose, murcha, queda das folhas e morte da gema apical) e raízes das mudas (redução do volume) sob omissão de boro, e a toxidez nas folhas mais velhas (clorose malhada e, posteriormente, manchas necróticas nas bordas), nas duas doses mais altas. A dose de 1,5 mg dm^{-3} foi a que promoveu maior crescimento das mudas.

Na tabela 3 estão apresentados os teores médios de macro e micronutrientes das folhas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*) em função dos níveis crescentes de boro.

Tabela 3: Teores foliares médios de macro e micronutrientes em cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), em função dos níveis crescentes de boro, aos 120 dias após o plantio das mudas em sacos plásticos com 2 dm³, em casa de vegetação.

Nutrientes	<i>Toona ciliata</i>				<i>Cedrela fissilis</i>			
	Boro (mg dm ⁻³)							
	0	1,0	2,5	10	0	1,0	2,5	10
N	28,60	29,92	29,72	25,05	28,55	26,82	26,88	27,99
P	1,94	1,94	2,15	1,91	1,51	1,48	1,45	1,46
K	9,96	9,92	9,55	8,55	10,42	10,80	10,93	10,67
Ca	11,04	11,82	11,73	11,52	10,26	10,28	9,81	10,15
Mg	1,49	1,54	1,52	1,35	1,53	1,57	1,43	1,26
S	2,36	2,32	2,47	2,49	2,94	3,03	3,11	3,02
Fe	64,80	51,20	72,40	48,00	70,00	78,00	59,20	50,80
Cu	5,20	6,00	4,80	5,00	4,80	5,20	4,80	4,40
Zn	71,20	67,60	75,60	63,00	45,60	42,40	41,60	39,20
Mn	149,20	124,00	168,40	134,00	99,60	104,80	104,40	73,60
B	23,57	31,46	35,64	38,32	20,06	28,05	32,68	41,12

Valores médios obtidos a partir da análise de cinco amostras compostas por tratamento, coletadas de quatro plantas por parcela.

O nitrogênio foi o nutriente que apresentou maior teor nas duas espécies estudadas. O aumento do teor de nitrogênio favorece o crescimento vegetativo, porém o seu excesso pode não ser benéfico para algumas culturas. Segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, (2004), a quantidade normal de nitrogênio no mirtileiro varia de 18,0 a 21,0 g kg⁻¹, cálcio de 4,0 a 8,0 g kg⁻¹ e potássio de 3,5 a 6,5 g kg⁻¹. Esses valores estão abaixo dos verificados no presente estudo em todos os tratamentos dos cedros rosa e australiano.

Com relação ao boro, apesar de não ter sido observada deficiência desse nutriente no presente trabalho é relevante informar que sua deficiência surge primeiramente como um crescimento anormal ou retardado de pontos em

crescimento. Devido à sua relativa imobilidade nos tecidos, a sua deficiência tem como uma característica comum os distúrbios do crescimento dos tecidos meristemáticos (Mengel e Kirkby, 1987).

Em um estudo com cedro australiano, Furtini Neto et al. (2014) observaram que a deficiência de boro afetou, consideravelmente, o desenvolvimento do sistema radicular, comprovando a importância deste nutriente para a formação de raízes desta espécie.

Em contrapartida, Moretti et al. (2011) observaram que a omissão de boro e zinco não afetou o crescimento das plantas de cedro australiano. Os autores fizeram inferência de que pelo menos na fase de crescimento que foram realizadas as avaliações (150 dias após aplicação dos tratamentos), a espécie não é muito exigente nesses nutrientes. As mudas cultivadas em solução nutritiva completa apresentaram 32,6 mg kg⁻¹ de boro na massa seca da parte aérea.

Este valor foi inferior aos encontrados nos tratamentos com aplicação de 2,5 e 10 mg dm⁻³ de boro no solo, para as mudas de cedro australiano e cedro rosa, no presente estudo.

As mudas de cedro australiano que sobreviveram ao maior nível de boro aplicado no substrato (terra e areia) apresentaram, em média, teor de 38,32 mg kg⁻¹ de boro nas folhas e o cedro rosa, 41,12 mg kg⁻¹. Ambos os valores são considerados tóxicos para o paricá (*Schizolobium amazonicum*), de acordo com estudo realizado por Lima et al. (2003), no qual verificaram que os sintomas de toxidez de boro se manifestaram quando o teor na parte aérea das plantas atingiu 36,06 mg kg⁻¹.

Observa-se que o conteúdo nutricional de macro e micronutriente (tabela 4) diferiu apenas entre as espécies. As mudas do cedro rosa apresentaram maior conteúdo de N (456,5 mg), P (24,54 mg), K (178,0 mg), Ca (168,3 mg), Mg (24,4 mg), S (50,4 mg), Fe (1,1 mg) e Cu (0,08 mg). Como foi verificado maior crescimento nas mudas de cedro rosa, o maior conteúdo observado nessas mudas está associado ao fato de apresentarem mais biomassa e, conseqüentemente, maior conteúdo, uma vez que, para sua determinação multiplica-se o teor pela massa seca.

Os conteúdos de macro e micronutrientes observados no presente estudo poderão auxiliar na recomendação da adubação para as espécies em questão.

Portanto, essas são as quantidades mínimas de nutrientes a serem fornecidos às mudas para que permaneçam em produção por 120 dias (Tabela 4).

Tabela 4: Conteúdo foliar de macro e micronutrientes (mg) em cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), em função de doses de boro, 120 dias após o plantio das mudas em sacos plásticos com 2 dm³, em casa de vegetação.

Nutrientes (mg)	Espécies	Níveis de Boro (mg dm ³)				Média	CV (%)
		0	1,0	2,5	10		
N	<i>T. ciliata</i>	297,7	303,3	320,8	238,8	290,1 b	18,2
	<i>C. fissilis</i>	458,8	485,3	472,9	409,1	456,5 a	
P	<i>T. ciliata</i>	20,7	19,3	22,9	15,8	19,70 b	22,4
	<i>C. fissilis</i>	24,2	26,9	25,6	21,4	24,54 a	
K	<i>T. ciliata</i>	104,5	102,0	106,9	94,5	102,0 b	22,1
	<i>C. fissilis</i>	167,5	195,5	192,6	156,5	178,0 a	
Ca	<i>T. ciliata</i>	113,7	116,8	122,5	103,9	114,2 b	21,0
	<i>C. fissilis</i>	165,8	187,0	172,4	147,8	168,3 a	
Mg	<i>T. ciliata</i>	16,7	16,1	17,8	13,3	16,0 b	31,6
	<i>C. fissilis</i>	24,9	28,6	25,1	18,9	24,4 a	
S	<i>T. ciliata</i>	24,0	22,8	25,4	19,5	22,9 b	22,8
	<i>C. fissilis</i>	47,2	55,0	55,0	44,3	50,4 a	
Fe	<i>T. ciliata</i>	0,8	0,6	0,8	0,4	0,6 b	56,6
	<i>C. fissilis</i>	1,1	1,5	1,1	0,8	1,1 a	
Cu	<i>T. ciliata</i>	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06 b	28,9
	<i>C. fissilis</i>	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08 a	
Zn	<i>T. ciliata</i>	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7 a	23,1
	<i>C. fissilis</i>	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7 a	
Mn	<i>T. ciliata</i>	1,9	1,4	1,7	1,3	1,6 a	67,1
	<i>C. fissilis</i>	1,6	1,9	1,9	1,1	1,6 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de F (5%).

De acordo com Nascimento et al. (2011), a quantidade de nutrientes absorvida pelas plantas é função das condições edafoclimáticas e das características genéticas da planta. Dentre os fatores edafoclimáticos, a disponibilidade de nutrientes e a umidade do solo têm sido consideradas como os principais responsáveis por alterações nos padrões de absorção de nutrientes.

Dentre os nutrientes estudados, apenas o conteúdo foliar de boro foi influenciado pela aplicação deste nutriente no solo. O conteúdo máximo de boro nas folhas de cedro australiano e cedro rosa foi alcançado com 5,94 e 6,26 mg

dm⁻³ de boro, respectivamente (Figura 5). Esses valores correspondem a um teor disponível no solo de cerca de 1,6 mg kg⁻¹, conforme observa-se na figura 2. A partir do qual as plantas podem ser prejudicadas.

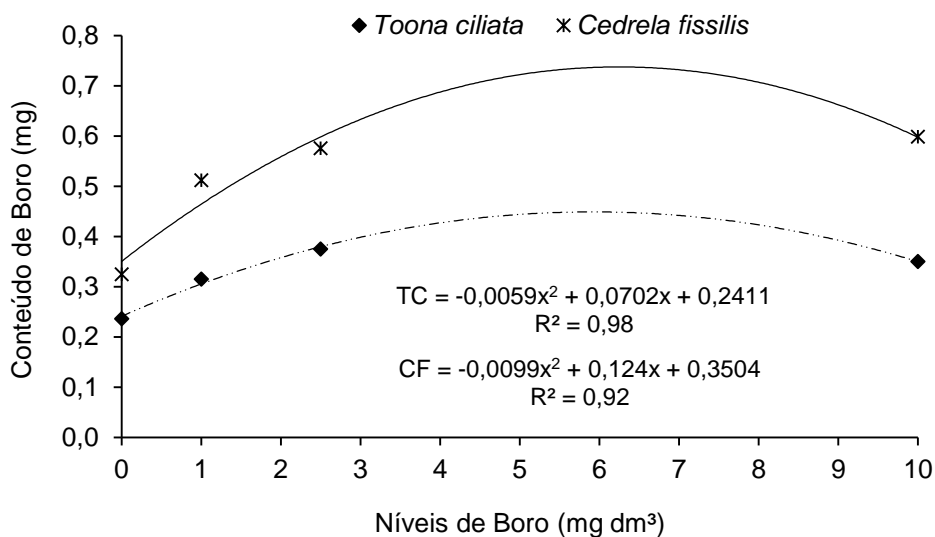


Figura 5: Conteúdo foliar de boro em mudas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis* submetidas a níveis crescentes de boro aos 120 dias de condução do experimento em casa de vegetação.

Em *S. amazonicum*, o conteúdo de boro aumentou até a dose estimada de 0,6 mg dm⁻³ deste nutriente no solo, a partir de onde começou a decrescer (Lima et al., 2003).

Conforme resultados apresentados na tabela 5, observa-se que, para a eficiência de utilização dos nutrientes também houve diferença apenas entre as espécies, sendo o cedro rosa mais eficiente, ou seja, esta espécie apresentou maior capacidade de converter os nutrientes absorvidos em biomassa.

Tabela 5: Eficiência de utilização de nutrientes, em $g^2\ mg^{-1}$ de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis* em função de níveis de adubação com boro.

Nutrientes	Espécies	Níveis de Boro ($mg\ dm^3$)				Média	CV (%)
		0	1,0	2,5	10		
N	<i>T. ciliata</i>	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4 b	28,0
	<i>C. fissilis</i>	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6 a	
P	<i>T. ciliata</i>	5,4	5,5	5,4	6,0	5,6 b	27,8
	<i>C. fissilis</i>	10,8	12,2	12,4	10,0	11,3 a	
K	<i>T. ciliata</i>	1,0	1,0	1,2	1,0	1,1 b	21,8
	<i>C. fissilis</i>	1,5	1,7	1,6	1,4	1,5 a	
Ca	<i>T. ciliata</i>	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9 b	27,4
	<i>C. fissilis</i>	1,6	1,7	1,8	1,4	1,6 a	
Mg	<i>T. ciliata</i>	7,1	6,7	7,2	6,9	6,9 b	30,7
	<i>C. fissilis</i>	10,9	12,2	13,5	11,9	12,1 a	
Fe	<i>T. ciliata</i>	174,7	215,6	182,4	229,4	200,5 b	38,5
	<i>C. fissilis</i>	253,6	272,2	343,4	295,6	291,2 a	
Cu	<i>T. ciliata</i>	1999,5	1699,6	2382,8	1725,0	1951,7 b	26,9
	<i>C. fissilis</i>	3530,7	3601,3	3752,2	3364,5	3562,2 a	
Zn	<i>T. ciliata</i>	146,9	156,0	157,1	145,0	151,3 b	26,7
	<i>C. fissilis</i>	361,05	430,4	436,1	371,8	399,8 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de F (5%).

Apesar de Molica (1992) ter relatado que o fato de uma planta apresentar alta eficiência de utilização para um determinado nutriente, não implica em que apresente o mesmo comportamento para os demais nutrientes. O cedro rosa foi mais eficiente na utilização de todos os nutrientes em relação ao cedro australiano.

Com o aumento da aplicação dos níveis de boro no solo houve redução da eficiência de utilização deste nutriente pelas mudas de cedro australiano e cedro rosa, conforme pode ser observado através da figura 6.

Assim como ocorreu no presente estudo, Barros (1986) relata que a eficiência de utilização de nutrientes pode variar à medida que a disponibilidade de nutrientes no solo se altera. Segundo este autor, em geral, maior eficiência pela planta ocorre com a redução da disponibilidade dos nutrientes no solo.

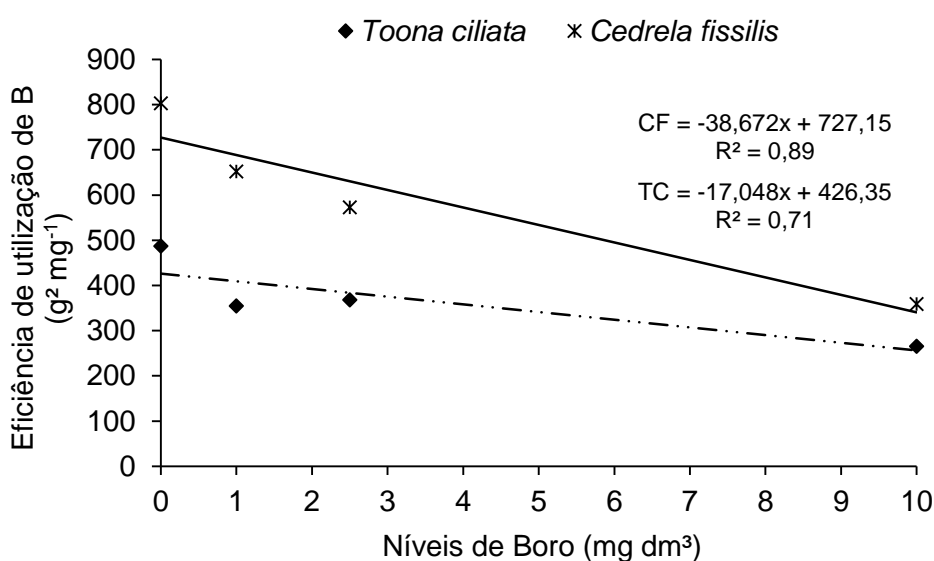


Figura 6: Eficiência no uso de boro por *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*, em função de níveis de adubação com boro, aos 120 dias após o plantio das mudas em sacos plásticos de 2 dm³, em casa de vegetação.

A eficiência no uso dos nutrientes expressa a quantidade de massa orgânica que é produzida a cada unidade de nutriente que é absorvido pela planta (Chapin, 1980) e, desta forma, as plantas que crescem em solos oligotróficos seriam mais eficientes no uso dos nutrientes do que aquelas que crescem em solos férteis (Aerts; Chapin, 2000). Essa afirmação corrobora os resultados da eficiência de boro encontrados nas duas espécies estudadas no presente trabalho, uma vez que elas apresentaram maior eficiência de utilização do boro em substrato contendo baixo nível deste nutriente (0,20 mg kg⁻¹) conforme Tabela 1. Portanto, sugere-se que os cedros australiano e rosa podem ser recomendados para plantio em solos nessas condições.

De acordo com Batista (2014), espécies que apresentam um sistema radicular mais desenvolvido associado à maior porcentagem de raízes finas podem garantir maior absorção de nutrientes da solução do solo. Essa informação, aliada aos índices de eficiência nutricional, pode permitir o aproveitamento de nutrientes de forma mais eficiente, sob distintas condições de disponibilidade no solo, e com isso, de acordo com Graham (1984) serem mais produtivas em função do transporte mais ágil da seiva bruta no xilema e da rápida

assimilação, apresentando uma menor demanda nutricional.

CONCLUSÃO

Não foi observado sintoma de deficiência visual nas mudas de cedro australiano e cedro rosa até 120 dias de cultivo.

A aplicação de 10 mg dm³ de boro não é recomendada para o crescimento de mudas de cedro australiano, em virtude do aparecimento de sintomas de toxidez, causando baixo percentual de sobrevivência das mudas.

O cedro rosa apresentou maior crescimento, conteúdo foliar e eficiência de utilização dos nutrientes em relação ao cedro australiano.

Os cedros, australiano e rosa apresentaram redução na eficiência de utilização do boro com o aumento das doses de B aplicadas no plantio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerts, R., Chapin, F. S. (2000) The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research*, London, 30, p. 1-67.
- Batista, R. O. (2014) Cinética de absorção de nutrientes, morfologia radicular e eficiência nutricional de clones de cedro australiano. (Doutorado em Ciência do solo), Universidade Federal de Lavras – UFLA, 104p.
- Barros, N. F.; Novais, R. F. (1990) Relação solo-eucalipto. Viçosa, Editora Folha de Viçosa, 430p.
- Barros, N. F. (1986) Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, Viçosa 10 (2): 112-120.
- Barros, N. F.; Neves, J. C.; Novais, R. F. (2000) Recomendações de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, p. 269-286.

- Barreto, V. C. M.; Valeri, S. V.; Silveira, R. L. V. A.; Takahashi, E. N. (2007) Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. *Scientia Forestalis*, v.76, p. 21-33.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K. (2015) Nutrient Use Efficiency in Plants: An Overview. *In: Rakshit, A., Singh, H. B., Sem, A. (eds.) Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances*. Springer India, p. 1-13.
- Benedetti, E. L., Santin, D., Wendling, I., Pereira, G. L., Barros N. F. (2014) Boro no crescimento de mudas de erva-mate em solução nutritiva. *In: Congreso sudamericano de yerba mate, 6. Simposio internacional de yerba mate y salud, 2., 2014, Montevideo. Memorias: Grupo Interdisciplinario de Yerba Mate y Salud, 2014.*
- Brown, P.H. e Hu, H. 1997. Does boron play only a structural role in the growth in tissues of higher plants? *In: Plant and Soil* 196:211-215.
- Chapin, F. S. (1980) The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v.11, p.233-60.
- Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. (2007) Elementos requeridos à nutrição de plantas. *In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132.
- Ferreto, D. O. C., Rodrigues, J. P., Ibarra, M. A., Oliveira, C. S., Vieira, R. C. B., Weber, M. A., Vieira, F. C. B. (2015) Boron Fertilization and Liming for *Eucalyptus urograndis* Cropped on Sandy Arenosol of Brazilian Pampa. *Journal of Plant Nutrition*.
- Furlani, A. M. C. (2004) Nutrição mineral. *In: KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal*. São Paulo: Guanabara Koogan, p.40-75.
- Furtini Neto, A. E. et al. (2014) Relação entre nutrição e doenças em espécies florestais. *In: Prado, R. de M., Wadt, P. G. S. (eds) Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras*. Jaboticabal: FCAV/CAPES. p.193-220.
- Gonçalves, E. O.; Paiva, H. N.; Neves, J. C. L.; Gomes, J. M. (2012) Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan)

- submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. *Revista Árvore*, v.36, n.2, p. 219-228.
- Graham, R. D. (1984) Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: Tinker, P. B., Lanchli, A. (ed.) *Advances in plant nutrition*. New York: Praeger. p. 57-102.
- Jones Jr., J. B., Wolf, B., Mills, H. A. (1991) *Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Athens (USA): Micro - Macro Publishing. 213p.
- Lima, S. F.; Cunha, R. L.; Carvalho, J. G.; Souza, C. A. S.; Corrêa, F. L. O. (2003) Comportamento do paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb.) submetido à aplicação de doses de boro. *Cerne*, v. 9, n. 2, p. 192-204.
- Malavolta, E.; Fernandes, D. R.; Casale, H.; Romero, J. P.(1993). Seja o doutor de seu cafezal. Piracicaba: Ed. Potafos, p. 5 – 7.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., Oliveira, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípio e adaptações*. 2. ed. Piracicaba, SP: Potafos, 319p.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres. 2006. 638 p.
- Mattiello, E. M.; Ruiz, H. A.; Silva, I. R.; Guerra, P. C.; Andrade, V. M. (2009) Características fisiológicas e crescimento de clones de eucalipto em resposta ao boro. *Revista Árvore*, v.33, n.5, p.821-830.
- Marschner, H. (2012) *Mineral nutrition of higher plants*. 3.ed. San Diego: Academic Press, 651 p.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. (1987) *Principles of plant nutrition*. 4. ed. Bern: International Potash Institute, 687 p.
- Molica, S. G. (1992) Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto, em duas Regiões Bioclimáticas de Minas Gerais. 1992. 84 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Moretti, B. S., Furtini Neto, A. E., Pinto, S. I. C., Furtini, I. V., Magalhães, C. A. S.

- (2011) Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Cerne*, Lavras, 17 (4):453-463.
- Nascimento, D. C., Schuch, M. W., Peil, R. M. N. (2011) Crescimento e conteúdo de nutrientes minerais em mudas de mirtilheiro em sistema convencional e semi-hidropônico. *Revista Brasileira Fruticultura*, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1155-1161.
- Pais, I.; Jones Junior, J. B. (1996) *The handbook of trace elements*. Boca Raton, St. Lucie Press, 223p.
- Ramos, S. J.; Faquin, V.; Ferreira, R. M. A.; Araújo, J. L.; Carvalho J. G. (2009) Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. *Revista Árvore*, v.33, n.1, p.57-65.
- Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., Alvarez V., V. H. (1999) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG. 359p.
- Siddiqi, M. Y.; Glass, A. D. M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutriente efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 4, n. 3, p. 289-302.
- Silveira, R. L. V. A.; Higashi, E. N. (2002) *Nutrição e adubação de Eucalyptus*. Piracicaba, RR Agroflorestal, 210p.
- Sociedade brasileira de ciência do solo. Comissão de química e fertilidade do solo. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.
- Wood, T. E., Lawrence, D., Wells, J. A. (2011) Interspecific Variation in Foliar Nutrients and Resorption of Nine Canopy-tree Species in a Secondary Neotropical Rain Forest. *Biotropica*, Washington, 43 (5): 544-551.
- Yamada, T. (2004). Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. *Informações Agronômicas*

n.105, Piracicaba, p.1-12.

.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O cedro australiano e o cedro rosa são espécies de grande importância, que vêm ganhando espaço no setor florestal brasileiro por apresentarem madeira de qualidade e alto valor econômico. Apesar da importância das duas espécies para o setor, há relatos de plantios comerciais apenas com o cedro australiano. Já para o cedro rosa, a exploração tem sido realizada de forma extrativista.

O presente trabalho teve como objetivos: 1) Avaliar e comparar a produção de miniestacas e o consumo de nutrientes pelas minicepas de três clones de cedro australiano; 2) Avaliar a diferença de enraizamento e o crescimento das mudas de cedro australiano produzidas por miniestaquia em função das coletas de brotações; 3) Avaliar as trocas gasosas, a condutividade hidráulica das raízes, a eficiência do uso da água e o crescimento de mudas clonais e seminíferas de cedro australiano; 4) Verificar o efeito da aplicação de cálcio e boro no crescimento inicial e nas características nutricionais de mudas clonais de cedro australiano e seminífera de cedro rosa.

Para que esses objetivos pudessem ser alcançados foram montados cinco experimentos, dando origem aos cinco artigos. No primeiro artigo, de acordo com os resultados observou-se que:

- O clone TC3 se mostrou mais produtivo ao final de 18 coletas de brotações havendo maior eficiência na conversão dos nutrientes absorvidos para produção de brotações e de miniestacas;
- A partir da 9ª coleta de miniestacas é indicada a reposição de nutrientes visando manter a produtividade do minijardim sempre constante;

- O potássio, o nitrogênio e o cálcio foram os nutrientes mais exportados pela coleta das brotações dos três clones de cedro australiano.

No segundo artigo observou-se que:

- As mudas do clone TC9 apresentaram menor percentual de enraizamento e qualidade do sistema radicular;
- As mudas produzidas do clone TC15 mostraram-se mais desenvolvidas e de melhor qualidade;
- A partir de 342 dias de exploração do minijardim (15^a coleta) houve redução na qualidade das mudas dos três clones.

No terceiro artigo concluiu-se que:

- A condutividade hidráulica das raízes não diferiu entre os materiais genéticos;
- Quando comparados com as mudas propagadas por sementes, os três clones apresentaram maior controle da perda de água através das folhas;
- O clone TC15 apresentou um sistema radicular mais desenvolvido do que as mudas propagadas por sementes. Por outro lado, o crescimento do sistema radicular foi semelhante entre os clones TC3 e TC9;
- O clone TC9 resultou em mudas com maior controle estomático e conseqüentemente maior eficiência intrínseca do uso da água.

No quarto artigo constatou-se que:

- Os níveis de cálcio não afetaram a sobrevivência, a altura, o diâmetro e a área foliar das mudas;
- A partir de 0,57 g L⁻¹ de cálcio houve aumento da massa seca das raízes e a partir de 0,88 g L⁻¹, redução da massa seca da parte aérea para *Cedrela fissilis*;
- A ordem decrescente dos nutrientes acumulados nas folhas de *T. ciliata* foi: N>K>Ca>P>Mg>S>Fe>B>Mn>Zn>Cu. No *C. fissilis*, apenas a ordem do S>P>Mg mostrou-se diferente;
- A utilização de 1,52 g L⁻¹ de cálcio, com saturação por base de 85% incrementou a eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, magnésio, zinco e manganês nas duas espécies.

No quinto artigo foi verificado que:

- Não foi observado sintoma de deficiência visual nas mudas de cedro australiano e cedro rosa até 120 dias de cultivo;
- A aplicação de 10 mg dm³ de boro não é recomendada para o crescimento de mudas de cedro australiano, em virtude do aparecimento de sintomas de toxidez,

causando baixo percentual de sobrevivência das mudas;

- O cedro rosa apresentou maior crescimento, conteúdo foliar e eficiência de utilização dos nutrientes em relação ao cedro australiano;

- Os cedros, australiano e rosa apresentaram redução na eficiência de utilização do boro com o aumento das doses de B aplicadas no plantio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abaf - Associação baiana das empresas de base florestal. Anuário estatístico da ABAF (2013) ano base 2012. Salvador, 40p. Disponível em: <http://www.arefloresta.org.br/uploads/downloads/000109201395833.pdf>. Acesso em: 06 outubro de 2015.
- Aerts, R., Chapin, F. S. (2000) The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research*, London, 30, p. 1-67.
- Alcantara, G. B. de., Ribas, L. L. F., Higa, A. R., Ribas, K. C. Z., Koehler, H. S. (2007) Efeito da idade da muda e da estação do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*, Viçosa, 31 (3): 399-404.
- Alfenas, A. C., Zauza, E. A. V., Mafia, R. G., Assis, T. F. (2004) *Clonagem e doenças do eucalipto*. Viçosa: Editora UFV, 442 p.
- Amaral, J. F.T., Martinez, H. E. P., Laviola, B. G., Fernandes Filho, E. I., Cruz, C. D. (2011) Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, 41 (4): 621-629.
- Assis, T. F., Fettini Neto, A. G., Alfenas, A. C. (2004) Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. In: Walters, C., Carson, M. (eds.) *Plantation forest biotechnology for the 21st century*. Kerala: Research Signpost, v.1, p.303-333.

- Atkin, O. K., Scheurwater, I., Pons, T. L. (2007) Respiration as a percentage of daily photosynthesis in whole plants is homeostatic at moderate, but not high, growth temperatures. *New Phytologist*, 174: 367-380.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K. (2015) Nutrient Use Efficiency in Plants: An Overview. *In: Rakshit, A., Singh, H. B., Sem, A. (eds.) Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances*. Springer India, p. 1-13.
- Barbosa, L. M., Barbosa, J. M., Barbosa, K. C., Potomati, A., Martins, S. E., Asperti, L. M., Melo, A. C. G., Carrasco, P. G., Castanheira, S. A., Piliackas, J. M., Contieri, W. A., Mattioli, D. S., Guedes, D. C., Junior, N. S., Silva, P. M. S., Plaza, A. P. (2003) Recuperação florestal com espécies nativas no Estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias. *Florestar Estatístico-Artigos Técnicos*, São Paulo, 6 (14): 28-34.
- Barretto, V. C. M., Valeri, S. V., Silveira, R. L. V. A., Takahashi, E. N. (2007) Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vaso. *Scientia florestalis*, Piracicaba, 76: 21-33.
- Barros, N. F. (1986) Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, Viçosa 10 (2): 112-120.
- Barros, N. F., Neves, J. C. L., Novais, R. F. (1997) Nutrição e adubação de eucalipto. *Inf. Agropec.*, 18:70-75.
- Barros, N. F., Neves, J. C., Novais, R. F. (2000) Recomendações de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. *In: Gonçalves, J. L. de M., Benedetti, V. (eds.) Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, p. 269-286.
- Barros, N. F.; Novais, R. F. (1990) Relação solo-eucalipto. Viçosa, Editora Folha de Viçosa, 430p.
- Barros, T. C. (2015) *Revigoração de clones de Toona ciliata var. australis por miniestaquia*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 78p.

- Barroso, D. G., Figueiredo, F. A. M. M. A., Pereira, R. C., Mendonça, A. V. R., Silva, L. C. (2005) Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. *Revista Árvore*, Viçosa, 29 (5): 671-679.
- Batista, R. O. (2014) Cinética de absorção de nutrientes, morfologia radicular e eficiência nutricional de clones de cedro australiano. (Doutorado em Ciência do solo), Universidade Federal de Lavras – UFLA, 104p.
- Batista, R. O., Furtini Neto A. E., Deccetti, S. F. C. (2015) Eficiência nutricional em clones de cedro-australiano. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 43 (107): 647-655.
- Behling, J. P., Gabelman, W. H., Gerloff, G. C. (1989) The distribution and utilization of calcium by two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines differing in calcium efficiency when grown under low-Ca stress. *Plant Soil*, 113:189-196.
- Bela Vista Florestal (2012) Disponível em: http://www.belavistaflorestal.com.br/produktividade_e_retorno.php, Acesso em: outubro de 2012.
- Bela Vista Florestal (2015a) - Mudas de cedro australiano: <http://belavistaflorestal.com.br/plus/modulos/conteudo/?tac=221-produtos-e-servicos-o-cedro-australiano>. Acesso em: outubro de 2015.
- Bela Vista Florestal (2015b) – Produtividade e retorno: <http://belavistaflorestal.com.br/plus/modulos/conteudo/?tac=340-produtividade-e-retorno>. Acesso em novembro de 2015.
- Benedetti, E. L., Santin, D., Wendling, I., Pereira, G. L., Barros N. F. (2014) Boro no crescimento de mudas de erva-mate em solução nutritiva. In: Congresso sudamericano de yerba mate, 6. Simposio internacional de yerba mate y salud, 2., 2014, Montevideo. Memorias: Grupo Interdisciplinario de Yerba Mate y Salud, 2014.
- Bernardino, D. C. S., Paiva, H. N., Neves, J. C. L., Gomes, J. M., Marques, V. B. (2005) Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. *Revista Árvore*, 29 (6): 863-870.

- Bernardino, D.C. S., Paiva, H. N., Neves, J. C. L., Gomes, J. M., Marques, V. B. (2007) Influencia da saturaçao por bases e da relaçaõ Ca:Mg do substrato sobre o crescimento inicial de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (vell.) Fr. All. Ex benth.). *Revista Árvore*, Viçosa, 31 (4): 567-573.
- Bonfim-Silva, E. M., Polizel, A. C., Sousa, J. V. R., Lima, M. A., Almeida, E. R. (2011) Efeitos da saturaçaõ por bases no desenvolvimento inicial do pinhão manso em latossolo do cerrado. *Enciclopédia biosfera, Centro científico conhecer*, Goiânia, v.7, n.13, p.469-478.
- Boursiac, Y., Prak, S., Boudet, J., Postaire, O., Luu, D. T., Tournaire-Roux, C., Santoni, V., Maurel, C. (2008) The response of Arabidopsis root water transport to a challenging environment implicates reactive oxygen species-and phosphorylation-dependent internalization of aquaporins. *Plant Signaling & Behavior*, 3: 1096-1098.
- Boyer, J.S. (1985) Water transport. *Annual Review of Plant Physiology* 36: 473-516
- Braga, M. de M., Furtini Neto, A. E., Oliveira, A. H. (2015) Influência da saturaçaõ por bases na qualidade e crescimento de mudas de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*). *Ciência Florestal*, 25 (1): 49-58.
- Brodribb, T. J., Feild, T. S. (2010) Leaf hydraulic evolution led a surge in leaf photosynthetic capacity during early angiosperm diversification. *Ecology Letters*, 13: 175–183.
- Brodribb, T. J., Phillips, M. M. H., Bramley, H. (2014) Improving water transport for carbon gain in crops. In: Sadras, V. O., Calderini, D. F. (eds). *Crop physiology - applications for genetic improvement and agronomy*. 2 ed. Elsevier/Academic, p. 251-281.
- Brondani, G. E., Wendling, I., Brondani, A. E., Araujo, M. A., Silva, A. L. L. da., Gonçalves, A. N. (2012) Dynamics of adventitious rooting in mini-cuttings of *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*. *Acta Scientiarum*, Maringá, 34 (2): 169-178.
- Brown, P.H. e Hu, H. 1997. Does boron play only a structural role in the grow in

tissues of higher plants? In: *Plant and Soil* 196:211-215.

Bündchen, M., Boeger, M. R. T., Reissmann, C. B., Silva, S. L. C. (2013) Status nutricional e eficiência no uso de nutrientes em espécies arbóreas da floresta subtropical no sul do Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 41 (98): 227-236.

Caldas, L. S. (2006) Pomares de sementes de espécies nativas as funções das redes de sementes. In: Higa, A. R., Silva, L. D. *Pomar de sementes de espécies florestais nativas*. Curitiba: FUPEF do Paraná. p. 227-241.

Caldeira, M. V. W., Rondon Neto, R. M., Schumacher, M. V. (2004) Eficiência do uso de micronutrientes e sódio em três procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *Revista Árvore*, Viçosa, 28 (1): 39-47.

Carneiro, J. G. A. (1995) *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 451p.

Carvalho, P. E. R. (2003) *Espécies florestais brasileiras*. v.1. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1039 p.

Carvalho, V. D. de., Chalfoun, S. M. (1991) A importância do cálcio na agricultura. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 15 (170):17-28.

Centro de inteligência em florestas (2010) Disponível em: http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=cedro_australiano, Acesso em: em out. 2010.

Chapin, F. S. (1980) The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v.11, p.233-60.

Comas, L. H., Bouma, T. J., Eissenstat, D. M. (2002) Linking root traits to potential growth rate in six temperate tree species. *Oecologia*, 132: 34-43.

Costa, C. A., Souza, G. A., Alves, D. S., Araújo, C. B. O., Fernandes, L. A., Martins, E. R., Sampaio, R. A., Lopes, P. S. N. (2007). Saturação por bases no crescimento inicial e na produção de flavonóides totais da fava-d'anta. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 25 (1):49-52.

- Costa, M. S. S., Ohashi, O. S., Silva, J. N. M., Silva, M. F. G. F. (2000) Controle da broca do mogno através da preferência de ovoposição de *Hypsipyla grandella* Zeller sobre *Toona ciliata* M. J. Roem. plantado em consórcio com *Swietenia macrophylla* King. *Comunicado técnico Embrapa Amazônia Oriental*, Belém-PA, nº 47.
- Cruz, C. A. F., Paiva, H. N., Gomes, K. C. O., Guerrero, C. R. A. (2004) Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). *Scientia Forestalis*, Piracicaba, (66): 100-107.
- Cunha, A. C. M. C. M. da, Wendling, I., SOUZA JÚNIOR, L. (2005) Produtividade e sobrevivência de minicepas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em sistema de hidroponia e em tubete. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 15 (3): 307-310.
- Cunha, A. C. M. C. M. da, Wendling, I., Souza Júnior, L. (2005) Produtividade e sobrevivência de minicepas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em sistema de hidroponia e em tubete. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 15 (3): 307-310.
- Cunha, A. C. M. C. M.; Paiva, H. N.; Barros, N. F.; Leite, H. G.; Leite, F. P. (2008b) Relação do estado nutricional de minicepas com o número de miniestacas de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 36 (79): 203-213.
- Cunha, A. C. M. C. M.; Wendling, I.; Souza Júnior, L. (2008a) Miniestaquia em sistema de hidroponia e em tubetes de Corticeira-do-mato. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 18 (1): 85-92.
- Damato Neto, J., Santos, M. A., Soares, A. C., Matos Neto, F. C., Souza C. M. (2014) Avaliação do sistema radicular e eficiência nutricional de cálcio e magnésio em mudas de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. *Revista Verde Pombal*, 9 (3): 307-312.
- Damatta, F. M, Ramalho, J. D. C. (2006) Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Campos dos Goytacazes, 18: 55-81.

- Dechen, A. R., Nachtigall, G. R. (2007) Elementos requeridos à nutrição de plantas. *In: Novais, R. F., Alvarez V. V. H., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B, Neves, J. C. L. (eds) Fertilidade do solo. Viçosa- MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132.*
- Dias, P. C., Oliveira, L. S., Xavier, A., Wendling, I. (2012) Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, 32 (72): 453-462.*
- Dickson, A., Leaf, A. L., Hosner, J. F. (1960) Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle, 36: 10-13.*
- Duboc, E., Ventrin, N., Vale, F. R. do, Davide, A. C. (1996) Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var *stilborcarpa* (Hayne) Lee et Lang.). *Revista Cerne, 2 (1): 01-12.*
- Duncan, R. R., Baligar, V. C. (1990) Genetics and physiological basis of nutrient uptake and use efficiency. *In: Baligar, V. C., Duncan, R. R., (eds.) Crops as enhancers of nutrient use. New York, Academic Press, p.3-35.*
- Eldridge, K., Davidson, J., Harwood, C., Van Wyk, G. (1994) Mass vegetative propagation. *In: Eldridge, K., Davidson, J., Harwood, C., Van Wyk, G. (eds.) Eucalypt domestication and breeding. Oxford: Clarendon Press, p. 228-246.*
- Eloy, E., Caron, B. O., Schmidt, D., Behling, A., Schwers, L., Elli, E. F. (2013) Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. *Floresta, Curitiba, 43 (3): 373-384.*
- El-Sharkawy, M. A.; Cock, J. H.; Hernandez, A. D. P. (1985) Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis Research, 7:137-149.*
- Fachinello, J. C.; Hoffmann, A.; Natchigal, J. C. (2005) *Propagação de plantas frutíferas*. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 221p.
- Fageria, N. K. (1998) Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2: 6-16.*
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. (1993) Screening Crop Genotypes For Mineral

- Stresses. In: Duncan, R. R., Baligar, V. C. (org.). *Adaptation of plants to soil stresses*. Lincoln, USA: Universidade de Nebraska/Intsormil, p. 142-159.
- Favarin, J. L., Neto, D. D., García, A. G., Villa Nova, N. A., Favarin, M. G. G. V. (2002) Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(6): 769-773.
- Ferreira, B. G. A., Zuffellato-Ribas, K. C., Wendling, I., Koehler, H. S., Nogueira, A. C. (2010) Miniestaquia de *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax com o uso de ácido 33 indolbutírico e ácido naftalenoacético. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 20 (1): 19-31.
- Ferreira, D. A., Barroso, D. G., Silva, M. P. S., Souza, J. S., Freitas, T. A. S., Carneiro, J. G. A. (2012) Influência da posição das miniestacas na qualidade de mudas de cedro australiano e no seu desempenho inicial no pós-plantio. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 22 (4): 715-723.
- Ferreira, D. de A. (2009) *Produtividade das minicepas de cedro australiano em minijardim multiclonal e influência da posição das miniestacas na qualidade das mudas*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 55 p.
- Ferreto, D. O. C., Rodrigues, J. P., Ibarra, M. A., Oliveira, C. S., Vieira, R. C. B., Weber, M. A., Vieira, F. C. B. (2015) Boron Fertilization and Liming for *Eucalyptus urograndis* Cropped on Sandy Arenosol of Brazilian Pampa. *Journal of Plant Nutrition*.
- 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*. Viçosa, 35 (1): 1-11.
- Figueiredo, F. A. M. M. A., Carneiro, J. G. A., Penchel, R. M., Campostrini, E., Thiebaut, J. T. L., Barroso, D. G. (2014a) Condutividade hidráulica de raiz e capacidade fotossintética de mudas clonais de eucalipto com indução de deformações radiculares. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 24 (2): 1-10.

- Figueiredo, F. A. M. M. A., Carneiro, J. G. A., Penchel, R. M., Campostrini, E., Thiebaut, J. T. L., Barroso, D. G. (2014b) Trocas gasosas, relações hídricas e eficiência fotoquímica em mudas clonais de eucalipto com permanência prolongada em tubetes. *Scientia Forestalis* 42 (104).
- Fitter, A. H. (1991) Characteristics and functions of root systems. In: Waisel Y, Eshel A, Kafri U (eds), *Plant Roots: The hidden half*, Marcel Dekker, New York, p. 3-24.
- Fogaça, C. A. (2010) Nutrientes e fungos micorrízicos arbusculares como fatores limitantes ao crescimento de *Toona ciliata* M. Roem. var. *Australis*. 89 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.
- 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*, Viçosa, 26 (4): 515-523.
- Freitas, A. F. (2013) *Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de híbridos de Eucalyptus globulus Labill. em resposta a N, B e Zn*. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa-UFV, 85p.
- Freitas, D. A. F., Gomide, P. H. O., Rufini, M., Penha, H. G. V., Cardoso, E. L., Silva, M. L. N., Santos, S. A., Carvalho, J. G. (2011) Sintomas Visuais de deficiências nutricionais em grama-do-cerrado (*Mesosetum chaseae*). Corumbá: Embrapa Pantanal, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Pantanal nº 110) 17p.
- Furlani, A. M. C. (2004) Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. São Paulo: Guanabara Koogan, p.40-75.
- Furtini Neto, A. E. et al. (2014) Relação entre nutrição e doenças em espécies florestais. In: Prado, R. de M., Wadt, P. G. S. (eds) Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras. Jaboticabal: FCAV/CAPES. p.193-220.

- Furtini Neto, A. E., Resende, A. V., Vale, F. R., Faquin, V. Fernandes, L. A. (1999) Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas na fase de muda. *Cerne*, Lavras, 5 (2): 1-12.
- Gatti, K. C., Gonçalves, R. C., Xavier, A., Paiva, H. (2011) Propagação vegetativa de jequitibá *Cariniana estrellensis* (Raddi) por miniestaquia. *Temas Agrários*, 16 (2): 54-63.
- Gholipoor, M., Prasad, P. V. V., Mutava, R. N., Sinclair, T. R. (2010) Genetic variability of transpiration response to vapor pressure deficit among sorghum genotypes. *Field Crops Research* 119: 85-90.
- Gilbert, M. E., Holbrook, N. M., Zwieniecki, M. A., Sinclair, T. R. (2011) Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. *Field Crops Research* 124: 85-92.
- Gomes, K. C. O., Paiva, H. N., Neves, J. C. L., Barros, N. F., Silva, S. R. (2008) Crescimento de mudas de garapa em resposta à calagem e ao fósforo. *Revista Árvore*, Viçosa, 32 (3): 387-394.
- Gonçalves, J. L. M., Mello, S. L. M. (2005) O sistema radicular das árvores. In: Gonçalves, J. L. M., Benedetti, V. (eds) *Nutrição e fertilização de florestas*, IPEF, Piracicaba, p.221-267.
- Gonçalves, E. O.; Paiva, H. N.; Neves, J. C. L.; Gomes, J. M. (2012) Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. *Revista Árvore*, Viçosa, 36 (2): 219-228.
- Graham, R. D. (1984) Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: Tinker, P. B., Lanchli, A. (ed.) *Advances in plant nutrition*. New York: Praeger. p. 57-102.
- Gregory, P. J. (1994) Root growth and activity. In: *Physiology and determination of crop yield*, p. 65-93.
- Guerra, P. de C., Mattiello, E. M., Pucci, M. M., Andrade, V. M., Vieira, J. F., Huiz, H. A. (2006). Produção de matéria seca, aspectos fisiológicos e anatômicos de

plantas de eucalipto em resposta à Boro. *Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC*, Florianópolis, SC.

Haridasan, M. (2005) Competição por nutrientes em espécies arbóreas de cerrado. In: Scariot, A., Souza-Silva, J. C., Felfini, J. M. (orgs). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 169-178.

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., Geneve, R. (2002) *Plant propagation: principles and practices*. 7th Editon, New Jersey: Prentice-Hall, 880 p.

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., Geneve, R. (2011) *Plant propagation: principles and practices*. 8th Editon, New Jersey: Prentice-Hall. 915p.

Higashi, E. N., Silveira, R. L. V. A., Gonçalves, A. N. (2000) Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clonal de *Eucalyptus*. In: Gonçalves, J. L. de M., Benedetti, V. (eds) *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba - SP: IPEF, p.191-217.

Hirsch, A. M., Torrey, J. G. (1980) Ultrastructural changes in sunflower root cells in relation to boron deficiency and added auxin. *Canadian Journal of Botany*, 58: 856-866.

Hubbard, R. M., Bond, B. J., Ryan, M. G. (1999) Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees. *Tree Physiology*, 19: 165-172.

Hubbard, R. M., Bond, B. J., Ryan, M. G. (1999) Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees. *Tree Physiology*, 19: 165-172.

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 and Environment*, 24: 113-121.

- Jones Jr., J. B., Wolf, B., Mills, H. A. (1991) *Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Athens (USA): Micro - Macro Publishing. 213p.
- Kholova, J., Hash, C. T., Kakkera, A., Kocova, M., Vadez, V. (2010) Constitutive water conserving mechanisms are correlated with the terminal drought tolerance of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. *Journal of Experimental Botany*, 61: 367-377.
- Knipfer, T., Steudle, E. (2008) Root hydraulic conductivity measured by pressure clamp is substantially affected by internal unstirred layers. *Journal of Experimental Botany* 59: 2071-2084.
- Knipfer, T., Fricke, W. (2011) Water uptake by seminal and adventitious roots in relation to whole-plant water flow in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Botany*, 62:717-733.
- Kozlowski, T. T., Pallardy, S. G. (1997) *Physiology of woody plants*. 2^a ed. Academic Press, San Diego, 411p.
- Lamônica, K. R. (2013) *Produtividade de minicepas de clones de cedro australiano (Toona ciliata) e produção de mudas por miniestaquia*. Tese (Doutorado em Produção vegetal) – Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 76p.
- Larcher, W. (2006). *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, RiMa, 550 p.
- Lima, S. F., Cunha, R. L., Carvalho, J. G., Souza, C. A. S., Corrêa, F. L. O. (2003) Comportamento de paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb.) submetido à aplicação de doses de boro. *Cerne*, Lavras, 9 (2): 192-204.
- Locatelli, M., Vieira, A. H., Macedo, R. S., Pequeno, P. L. L. (2006) Caracterização de sintomas de deficiências em mudas de teca (*Tectona grandis* L. f.). Embrapa Rondônia (Circular técnica, 90), 3p.
- Malavolta, E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo. Ceres, 638 p.

- Malavolta, E., Fernandes, D. R., Casale, H., Romero, J. P. (1993). *Seja o doutor de seu cafezal*. Piracicaba, Informações agronômicas, 64: p. 1-36.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., Oliveira, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípio e adaptações*. 2. ed. Piracicaba, SP: Potafos, 319p.
- Maluleque, I. F. (2014) Qualidade de mudas e produtividade de minicepas de clones de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*) tratadas com paclobutrazol. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Lavras-MG, Universidade Federal de Lavras – UFLA. 104p.
- Mankessi, F., Saya, A., Baptiste, C., Nourissier, S., Monteuis, O. (2009) *In vitro* rooting of genetically related *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* clones in relation to the time spent in culture. *Trees*, 23 (5): 931-940.
- Marschner, H. (2012) Mineral nutrition of higher plants. 3.ed. San Diego: Academic Press, 651 p.
- Mattiello, E. M., Ruiz, H. A., Silva, I. R., Guerra, P. C., Andrade, V. M. (2009) Características fisiológicas e crescimento de clones de eucalipto em resposta ao boro. *Revista Árvore*, Viçosa, 30 (5): 821-830.
- Maurel, C., Simonneau, T., Sutka, M. (2010) The significance of roots as hydraulic rheostats. *Journal of Experimental Botany*, 61, (12): 3191-3198.
- McCrary, R. L., Comerford, N. B. (1998) Morphological and anatomical relationships of loblolly pine fine roots. *Trees*, 12: 431-437.
- Medina, C. L., Machado, E. C., Pinto, J. M. (1998) Fotossíntese de laranjeira 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. *Bragantia*, Campinas, 57 (1): 1-14.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. (1987) Principles of plant nutrition. 4. ed. Bern: International Potash Institute, 687 p.
- Molica, S. G. (1992) Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto, em duas Regiões Bioclimáticas de Minas Gerais. 1992. 84 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- Moraes, D. G., Barroso, D. G., Figueiredo, F. A. M. M., Silva, T. R. C., Freitas, T. A. S. (2014) Enraizamento de miniestacas caulinares e foliares juvenis de *Toona ciliata* M. Roemer. *Magistra*, Cruz das Almas, 26 (1): 47-54.
- Moretti, B. S., Furtini Neto, A. E., Pinto, S. I. C., Furtini, I. V., Magalhães, C. A. S. (2011) Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Cerne*, Lavras, 17 (4): 453-463.
- Mori, F. A., Mendes, L. M., Trugilho, P. F., Cardoso, M. G. (2003) Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 23 (3): 396-400.
- Moura, O. N., Passos, M. A. A., Ferreira, R. L. C., Molica, S. G., Lira Junior, M. A., Lira, M. A., Santos, M. V. F. (2006) Distribuição de biomassa e nutrientes na parte aérea de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. *Revista Árvore*, Viçosa, 30 (6): 877-884.
- Mroginski, E., Rey, H. Y., Mroginski, L. A. (2003) *In vitro* plantlet regeneration from australian red cedar (*Toona ciliata*, *Meliaceae*). *New Forests* 25: 177-184.
- Murakami, C. H. G. (2008) Cedro Australiano: valorização de espécies nobres. *Boletim Florestal*, 7 (2): 1-6.
- Nascimento, D. C., Schuch, M. W., Peil, R. M. N. (2011) Crescimento e conteúdo de nutrientes minerais em mudas de mirtilheiro em sistema convencional e semi-hidropônico. *Revista Brasileira Fruticultura*, Jaboticabal, 33 (4): 1155-1161.
- Neubert, V. F. (2014) *Propagação vegetativa do vinhático (Plathymenia foliolosa Benth) por miniestaquia*. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa-UFV, 38p.
- Oliveira, T. P. F., Barroso, D. G., Lamônica, K. R., Carneiro, J. G. A., Oliveira, M. A. (2015) Productivity of polyclonal minigarden and rooting of *Handroanthus heptaphyllus* Mattos minicuttings. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (4): 2423-2432.
- Pádua, E. J. et al. (2011) Efeito do boro, cobre, ferro, manganês e zinco no crescimento de mudas de cedro australiano. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças

climáticas, Uberlândia, n. , p.1-4.

- Pádua, E. J., Furtini Neto, A. E., Moretti, B. S., Benatti, B. P., Paiva, H. N., Carvalho, J. G.; Siqueira, J. O., Corrêa, J. B. D. (2003) Teor, conteúdo e índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de zinco. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 13 (1): 1-10.
- Pais, I.; Jones Junior, J. B. (1996) The handbook of trace elements. Boca Raton, St. Lucie Press, 223p.
- Paiva, H. N., Carvalho, J. G., Siqueira, J. O. (2000) Efeito de Cd, Ni, Pb e Zn sobre mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley) em solução nutritiva. *Revista Árvore*, Viçosa, 24 (4): 369-378.
- Pereira, M. O. (2014) *Resgate vegetativo e propagação via estaquia e miniestaquia de Toona ciliata M. Roem. var. australis (F. Muell) Bahadur*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Curitiba-PR, Universidade Federal do Paraná. 103p.
- Pinheiro, A. L., Lani, L. L., Couto, L. (2003) *Cultura do cedro australiano para produção de madeira serrada*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Brasil, 42p.
- Pinheiro, A. L., Lani, L. L., Couto, L. (2006) *Cedro Australiano: cultivo e utilização (Toona ciliata M.Roem. var. australis (F. Muell.) Bahadur*. Viçosa – UFV, 42p.
- Quirino, W. F., Vale, A. T., Andrade, A. P. A., Abreu, V. L. S., Azevedo, A. C. S. (2005) Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. *Revista da Madeira*, n. 89, p.100-106.
- Ramos, S. J., Faquin, V., Ferreira, R. M. A., Araújo, J. L., Carvalho, J. G. (2009) Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. *Revista Árvore*, Viçosa, 33 (1): 57-65.

- Raven, P. H., Eichhom, S. E., Evert, R. F. (2014) *Biologia vegetal*. 8ª ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 876p.
- Reitz, R. (1984) *Meliaceaes*. Itajaí: Herbario Barbosa Rodrigues, (Flora Ilustrada Catarinense).
- Richards, D., Rowe, R. N. (1977) Effects of root restriction, root pruning and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. *Annals Botany*, 41:729-740.
- Rieger, M., Livtin, P. (1999) Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *Journal of Experimental Botany* 50: 201-209.
- Rieger, M., Livtin, P. (1999) Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *Journal of Experimental Botany*, 50: 201-209.
- Ritzinger, R., Graziotti, P. H. (2005) Produção de mudas de acerola por miniestaquia. *Acerola em foco*, Embrapa Cruz das Almas, (10): 1-2.
- Rocha, A. M. S., Moraes, J. A. P. V. (1997) Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 9 (1): 41-46.
- Ronchi, C. P., Damatta, F. M., Batista, K. D., Moraes, G. A. B. K., Loureiro, M. E., Ducatti, C. (2006) Growth and photosynthetic down-regulation in *Coffea arabica* in response to restricted root volume. *Functional Plant Biology* 33(11): 1013-1023.
- Roth-Bejerano, N., Itai, C. (1981) Effect of boron on stomatal opening in epidermal strips of *Commelina communis*. *Physiologia Plantarum*, 52: 302-304.
- Rudek, A., Garcia, F. A. O., Peres, F. S. B. (2013) Avaliação da qualidade de mudas de eucalipto pela mensuração da área foliar com o uso de imagens digitais. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, 9 (17): 3775-3787.
- Santos, A. P., Xavier, A., Oliveira, M. L., Reis, G. G. (2005) Efeito da estaquia, miniestaquia, microestaquia e micropropagação no desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 68: 29-38.

- Scocchi, A., Dieringer, E., Mroginski, E., Mroginski, L. (2004) Conservación de semillas de Cedro Australiano (*Toona ciliata*). *Plant Genetic Resources Newsletter*, FAO – IPGRI, (137): 22-25.
- Sementes Caiçara (2013) Cedro australiano. Disponível em: <http://www.sementescaicara.com.br/Sementes/Cedro/cedro1.htm>, Acesso em: jan. 2013.
- Sena, J. S., Tucci, C. A. F., Lima, H. N., Hara, F. A. S. (2010) Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). *Acta Amazonica*, 40 (2): 309 - 318.
- Sengik, E. S. (2003) Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas. Disponível em: <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>. Acesso em: Setembro de 2012.
- 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.
- Siddiqi, M. Y., Glass, A. D. M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 4 (3): 289-302.
- Silva A. R. M., Tucci, C. A. F., Lima, H. N., Figueiredo, A. F. (2007) Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazônica*, 37 (2):195-200.
- Silva H. D., Poggiani F., Coelho L. C. (1983) Eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus*. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 6/7, p. 1-8.
- Silva, A. R. M., Tucci, C. A. F., Lima, H. N., Souza, P. A., Venturin, N. (2008) Efeitos de doses crescentes de calcário na produção de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* L. Gaertn). *Floresta*, Curitiba, 38 (2): 295-302.
- Silva, C. E. M., Gonçalves, J. F. C., Feldpausch, T. R., Luizão, F. J., Morais, R. R., Ribeiro, G. O. (2006) Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras

crescidas em pastagens degradadas na Amazônia central. *Acta Amazonica*, 36 (4): 503-512.

Silva, M. A. G., Muniz, A. S. (1995) Exigências nutricionais de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Velloso) em solução nutritiva. *Revista Árvore*, Viçosa, 19 (3): 415-425.

Silva, M. P. S., Barroso, D. G., Souza, J. S., Ferreira, D. A., Carneiro, J. G. A. (2012) Enraizamento de miniestacas e produtividade de minicepas de cedro australiano manejadas em canaletões e tubetes. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 22 (4): 703-713.

Silva, M. R. (2003) *Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de Eucalyptus grandis W. (Hill ex. Maiden)*. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Botucatu - Universidade Estadual Paulista, 100 p.

Silva, R. L., Oliveira, M. L., Monte, M. A., Xavier, A. (2010) Propagação clonal de guanandi (*Calophyllum brasiliense*) por miniestaquia. *Agronomía Costarricense*, Costa Rica, 34 (1): 99-104.

Silveira, R. L. V. A., Moreira, A., Takashi, E. N., Sgarbi, F., Branco, E. F. (2002) Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. *Cerne*, Lavras, 8 (2): 107-116.

Silveira, R. L. V. A.; Higashi, E. N. (2002) Nutrição e adubação de Eucalyptus. Piracicaba, RR Agroflorestal, 210p.

Sinclair, T. R., Zwieniecki, M. A., Holbrook, N. M. (2008) Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean. *Physiologia Plantarum*, 132: 446-451.

Sociedade brasileira de ciência do solo. Comissão de química e fertilidade do solo. (2004) Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, 400p.

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.

- Sousa, D. M. G., Miranda, L. N., Oliveira, S. A. (2007) Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R. F., Alvarez, V. V. H., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., Neves, L. C. J. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS. p. 206-274.
- Souza Junior, L. (2007) *Tipo de minijardim clonal e efeito do ácido indolbutírico na miniestaquia de Grevillea robusta A. Cunn. (Proteaceae)*. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Curitiba-PR, Universidade Federal do Paraná, 66 p.
- Souza, J. C. A. V., Barroso, D. G., Carneiro, J. G. A. (2010) *Cedro Australiano (Toona ciliata)*. Niterói: Programa Rio Rural, 12 p. (Manual Técnico; 21).
- Souza, J. C. A. V., Barroso, D. G., Carneiro, J. G. A., Teixeira, S. L., Balbinot, E. (2009a) Propagação vegetativa de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) por miniestaquia. *Revista Árvore*, Viçosa, 33 (2): 205-213.
- Souza, J. S., Barroso, D. G., Silva, M. P. S., Ferreira, D. A. (2015) Produtividade de minicepas de cedro australiano em função do teor inicial de nutrientes. *Floresta*, Curitiba, 45 (3): 617-624.
- Souza, J. S., Barroso, D. G., Silva, M. P. S., Ferreira, D. A., Gravina, G. A., Carneiro, J. G. A. (2014). Produtividade de minicepas de cedro australiano e remoção de nutrientes pela coleta sucessiva de miniestacas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 24 (1): 71-77.
- Souza, P. A., Venturin, N., Macedo, R. L. G., Venturin, R. P., Tucci, C. A. F., Carlos, L. (2009b) Nutritional assessment of cedar seedlings (*Cedrela fissilis* Vell.) grown in a greenhouse. *Cerne*, Lavras, 15 (2): 236-243.
- Steudle, E., Peterson, A. (1998) How does water get through roots? *Journal of Experimental Botany*, New York, 49: 775-788.
- Stiller, V., Lafitte, H. R., Sperry, J. S. (2003) Hydraulic properties of rice and the response of gas exchange to water stress. *Plant Physiology*, 132: 1698-1706.
- Sturion, J. F. A., Antunes, J. B. M. (2000) Produção de mudas de espécies florestais. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 351 p.

- Tavares, R., Viana, A. P., Barroso, D. B., Amaral, J. (2012) Genetic diversity in australian cedar genotypes selected by mixed models. *Ciência Agrotecnica*, Lavras, 36 (2): 171-179.
- Timm, C. R. F.; Schuch, M. W.; Tomaz, Z. F. P.; Mayer, N. A. (2015) Enraizamento de miniestacas herbáceas de porta-enxertos de pessegueiro sob efeito de ácido indolbutírico. *Semina*, Londrina, 36 (1):135-140.
- Tomaz, M. A., Silva, S. R., Sakiyama, N. S., Martinez, H. E. P. (2003) Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. *Revista Brasileira Ciência Solo*, Viçosa, 27 (5): 885-892.
- Tombesi, S., Johnson, R. S., Day, K. R., Dejong, T. M. (2009) Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany*, 105: 327-331.
- Tyree, M. T., Ewers, F. W. (1991) The hydraulic architecture of trees and other woody-plants. *New Phytologist*, 119: 345–360.
- Tyree, M. T., Patiño, S., Becker, P. (1998) Vulnerability to drought-induced embolism of Bornean heath and dipterocarp forest trees. *Tree Physiology*, 18: 583-588.
- Tyree, M. T. (2003) Hydraulic properties of roots. In: Kroon H, Visser EJW (Eds) *Root Ecology. Ecological Studies*. Springer, Berlin, p. 125-150.
- Tyree, M. T. (2003) Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees. *Trees*, Vancouver, 17: 95-100.
- Vale, F. R., Furtini Neto, A. E., Renó, N. B., Fernandes, L. A., Resende, A. V. (1996) Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 31 (9): 609-616.
- Vilela, E. S., Stehling, E. de C. (2015) Recomendações de plantio para Cedro Australiano. Apostila de recomendações da Bela Vista Florestal. Disponível em:

http://www.belavistaflorestal.com.br/informativos_e_documentos.php. Acesso em: novembro de 2015.

Vilela, E. S., Vilela, R. S. A cultura do cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*) para produção de madeira serrada. Bela Vista Florestal/APFLOR: http://www.belavistaflorestal.com.br/cedro_australiano_index.php Acesso em: Agosto de 2010.

Vitti, G. C., Lima, E., Cicarone, F. (2006) Cálcio, magnésio e enxofre. In: Fernandes, M. S. (ed) *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa- MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 299-325.

Wellburn, A. R. (1994) The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal Plant Physiology*, 144: 307-313.

Wendling, I., Dutra, L. F., Grossi, F. (2007) Produção e sobrevivência de miniestacas e minicepas de erva-mate cultivadas em sistema semi-hidropônico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 42 (2): 289-292.

Wendling, I., Ferrari, M. P., Dutra, L. F. (2005) Produção de mudas de corticeira-do-mato por miniestaquia a partir de propágulos juvenis. Colombo-PR. 5 p. (Comunicado Técnico).

Wendling, I., Paiva, H. N., Gonçalves, W. (2005) *Técnicas de produção de mudas de plantas ornamentais*. v. 3. Viçosa: Aprenda Fácil, 223 p.

Wendling, I., Souza Júnior, L. (2003) Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire) por miniestaquia de material juvenil. *Congresso Sul- Americano da Erva-Mate*. 3, Chapecó: Epagri, p.60.

Wood, T. E., Lawrence, D., Wells, J. A. (2011) Interspecific Variation in Foliar Nutrients and Resorption of Nine Canopy-tree Species in a Secondary Neotropical Rain Forest. *Biotropica*, Washington, 43 (5): 544-551.

Xavier, A., Santos, G. A., Wendling, I., Oliveira, M. L. (2003) Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. *Revista Árvore*, Viçosa, 27 (2): 139-143.

- Yamada, T. (2004). Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, 105: 1-12.
- Yamada, T., Abdalla, S. R. S. (2007) Informações recentes para otimização da produção agrícola. *Potafos: Informações Agronômicas*, 117: 1-28.
- Yong, J. W. H., Letham, D. S., Wong, S. C., Farquhar, G. D. (2010) Effects of roots restriction on growth and associated cytokinin levels in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Functional Plant Biology*, 37 (10): 974-984.
- Ziech, R. Q. S. (2008) *Características tecnológicas da madeira de cedro australiano (Toona ciliata M. Roem) produzida no sul do Estado de Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Lavras-MG, Universidade Federal de Lavras - UFLA, 91 p.
- Zimmermann, F. J. P. (2004) *Estatística aplicada à pesquisa agrícola*. EMBRAPA Arroz e Feijão, 400 p.

7. APÊNDICE

ARTIGO 1:

Tabela 1A: Análise de variância da produção acumulada de miniestacas e da sobrevivência das minicepas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* em função de 18 coletas de brotações em minijardim clonal.

Causas de variação	G. L.	Miniestacas acumuladas	% Sobrevivência
		----- Q. M.-----	-----
Bloco	5	1222,3*	0,111*
Ciclo	17	6310,5*	0,011
Clone	2	8785,9*	0,122*
Ciclo x clone	34	203,7*	0,006
Regressão	1	106718,0*	
Resíduo	265	56,3	0,012

* Significativo em 5% pelo teste F.

Tabela 2A: Análise de variância do conteúdo acumulado de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre removidos pelas brotações das minicepas selecionadas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* em cada ciclo de coleta do minijardim.

Causas de variação	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Enxofre	
	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.
Ciclo	17	4263082,7*	38087,4*	4876480,5*	829155,2*	28290,8*	11512,9*					
Clone	2	5643745,6*	49383,5*	8172791,6*	798614,9*	17360,3*	21578,9*					
Cic x Clo	34	83500,0	664,5	116997,3	18027,9	310,8	277,7					
Regressão	1	71928843,8*	632753,1*	81289325,3*	14041613,9*	479453,0*	194380,5*					
Resíduo	378	170323,3	1591,3	204782,7	29526,5	982,6	520,2					

Tabela 3A: Análise de variância do conteúdo acumulado de ferro, cobre, zinco, manganês, boro e massa seca removidos pelas brotações das minicepas selecionadas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* em cada ciclo de coleta do minijardim.

Causas de variação	Ferro		Cobre		Zinco		Manganês		Boro		Massa seca	
	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.	G.L.	Q. M.
Ciclo	17	18,68*	0,288*	14,41*	24,17*	8,40*	4564,55*					
Clone	2	30,98*	0,249*	12,73*	15,03*	8,41*	5283,58*					
Cic x Clo	34	0,44	0,003	0,22	0,21	0,14	91,82					
Regressão	1	315,89*	4,878*	244,40*	407,80*	142,52*	77398,16*					
Resíduo	378	0,82	0,010	0,49	0,98	0,29	167,32					

ARTIGO 2:

Tabela 1A: Análise de variância do enraizamento, número de raízes de primeira ordem (NRP), comprimento de raiz de primeira ordem (CRP), comprimento total das raízes (CT), diâmetro médio das raízes (DMR) e massa seca das raízes (MSR) das miniestacas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* ao longo de oito coletas de miniestacas, avaliadas aos 30 dias após o estaqueamento, na expedição do setor de enraizamento.

Causas de variação	Enraizamento						
	G.L.	-----	NRP	CRP	CT	DMR	MSR
		-----	Q. M. -----				
Ciclo	7	0,324*	1,466*	1,208*	1,595*	0,483*	0,00024*
Clone	2	1,866*	2,025*	0,863*	0,761*	0,286*	0,00010*
Cic x Clo	14	0,244*	0,350*	0,197*	0,213	0,085*	0,00007*
Resíduo	168	0,105	0,163	0,107*	0,142	0,026*	0,00003

Tabela 2A: Análise de variância da sobrevivência, altura da planta, diâmetro a altura do colo (DAC), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* ao longo de oito coletas de miniestacas, avaliadas aos 105 dias após o estaqueamento.

Causas de variação	Sobrevivência						
	G.L.	-----	Altura	DAC	AF	MSPA	IQD
		-----	Q. M. -----				
Ciclo	7	0,829*	8,057*	4,176*	48004,7*	1,53*	0,208*
Clone	2	4,737	8,528*	2,919*	56147,8*	2,07*	0,581*
Cic x Clo	14	0,131*	3,195*	0,320*	5367,1	0,18	0,014
Resíduo	168	0,046	0,838	0,212	3772,4	0,17	0,015

Tabela 3A: Análise de variância Do comprimento total das raízes (CTR), comprimento das raízes finas (CR \varnothing 0-2mm), diâmetro médio das raízes (DMR), volume das raízes (VOL), área superficial de raízes (ASR) e massa seca das raízes (MSR) das mudas dos clones TC3, TC9 e TC15 de *Toona ciliata* ao longo de oito coletas de miniestacas, avaliadas aos 105 dias após o estaqueamento.

Causas de variação	Enraizamento						
	G.L.	-----	CTR	CR \varnothing 0-2mm	DMR	VOL	ASR
		-----	Q. M. -----				
Ciclo	7	161075,1	144802,1	18,50*	7,251*	59652,26*	0,289*
Clone	2	2641667,9*	2458711,5*	1,09*	40,042*	93810,2*	0,974*
Cic x Clo	14	168790,3*	152673,1*	0,16	1,734	4745,4	0,025
Resíduo	168	83553,6	81937,4	0,17	1,699	3764,2	0,020

ARTIGO 3:

Tabela 1A: Análise de variância da condutividade hidráulica normalizada pela massa seca do sistema radicular (K/MSR), pelo volume do sistema radicular (K/VR), pelo volume das raízes finas (K/VR \varnothing_{0-2mm}), pela área de superfície das raízes (K/ASR), pela área de superfície das raízes finas (K/ASR \varnothing_{0-2mm}) e não normalizada (K_{raiz}) considerando os três clones e as mudas propagadas por semente de *Toona ciliata* aos 120 dias.

Causas de variação	G.L.	K/MSR	K/VR	K/VR \varnothing_{0-2mm}	K/ASR	K/ASR \varnothing_{0-2mm}	K _{raiz}
		----- Q. M. -----					
Mat. Genét.	3	0,0000001	0,0000000	0,0000000	0,0001667	0,0002406	220,26
Resíduo	16	0,0000002	0,0000000	0,0000000	0,0002435	0,0003942	1456,57

Tabela 2A: Análise de variância da altura, diâmetro do colo, número de folhas, área foliar, massa seca da parte aérea, índice SPAD, massa seca da raiz, diâmetro médio das raízes, comprimento das raízes, comprimento das raízes finas (\varnothing_{0-2mm}), volume das raízes, volume das raízes finas (\varnothing_{0-2mm}), área de superfície das raízes e área de superfície de raízes finas (\varnothing_{0-2mm}) das mudas de três clones (TC3, TC9 e TC15) e mudas seminíferas de cedro australiano (*Toona ciliata*) aos 120 dias.

Causas de variação	G.L.	H	DAC	NF	AF	MSPA	SPAD	MSR	DMR	CR	CR (\varnothing_{0-2mm})	VR	VR (\varnothing_{0-2mm})	ASR	ASR (\varnothing_{0-2mm})
		----- Q. M. -----													
Material Genético	3	129,14*	1,61*	16,05*	11110,51*	2,21*	8,44*	0,28*	0,0028*	520360,6*	487631,5*	8,32*	5,54*	25538,4*	14394,1*
Resíduo	16	3,26	0,40	1,67	13382,06	0,32	18,65	0,18	0,0008	118715,3	111712,2	2,15	1,64	6247,6	3746,7

Tabela 2A: Análise de variância da fotossíntese (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), eficiência intrínseca no uso da água (*A/g_s*), eficiência instantânea no uso da água (*A/E*), clorofila *a* (*CA*), clorofila *b* (*CB*), clorofila total (*CT*), carotenoides (*CAR*), relação clorofila *a* e *b* (*CA/CB*), e relação clorofila total e carotenoides das mudas de três clones (TC3, TC9 e TC15) e mudas propagadas por semente de cedro australiano (*Toona ciliata*) aos 120 dias.

Causas de variação	G.L.	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A/g_s</i>	<i>A/E</i>	<i>CA</i>	<i>CB</i>	<i>CT</i>	<i>CAR</i>	<i>CA/CB</i>	<i>CT/CAR</i>
		----- Q. M. -----										
Material Genético	3	28,64*	0,007*	6,67*	8295,3*	0,56*	213,4	7089,9	7732,4	107,4	1,06	96,1
Resíduo	16	2,33	0,0006	0,38	219,5	0,07	5154,6	4464,4	14845,8	94,6	0,52	50,5

ARTIGO 4:

Tabela 1A: Análise de variância do incremento em altura (INC H) e diâmetro (INC D), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) massa seca das raízes (MSR), comprimento (CR), área superficial (ASR), diâmetro médio (DMR) e volume das raízes (VOL) das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidas à elevação dos níveis de cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹) coletados aos 120 dias de condução do experimento.

Causas de variação	G.L.	INC H	INC D	AF	MSPA	MSR	CR	ASR	DMR	VOL
		Q. M.								
Bloco	5	232,5	2,4	1781215,5	13,5	1,0	2517012,9	350254,9	0,048	243,2
Espécies	1	3737,0*	260,7*	29109721,4*	1128,0*	0,4*	222628,4*	431594,1*	0,186*	737,8*
Cálcio	3	92,9	2,9	466441,2	51,9*	2,7*	1932611,4*	114253,1*	0,014*	74,9*
Esp x Cal	3	4,7	1,1	506115,6	16,1	1,7	1372662,6*	149821,2*	0,007	84,1*
Regressão	1				124,3*	5,8*	5341809,5*	281287,5*	0,038*	121,4*
Resíduo	35	75,0	1,8	917032,5	16,9	0,6	345705,3	28960,9	0,003	21,5

Tabela 2A: Análise de variância do conteúdo foliar do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, zinco, manganês e boro das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidas à elevação dos níveis de cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹) coletados aos 120 dias de condução do experimento.

Causas de variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
		Q. M.										
Bloco	5	66248,5	73,9	22944268,9	2955,8	63,2	86,9	0,26	0,0011	0,04	0,12	0,14
Espécies	1	163499,3*	24,9	10626819,0	64708,7*	1639,3*	5023,6*	2,63*	0,0035*	0,19*	0,08	0,22
Cálcio	3	136040,0*	71,3	12344557,6	65647,8*	68,2*	90,9	0,97	0,0010	0,22*	0,42*	0,13
Esp x Cal	3	5516,5	2,5	13140317,2	2005,5	38,9	40,3	0,88	0,0001	0,12*	0,13*	0,03
Regressão	1	201743,2*			188965,4*	172,4*				0,20*	1,16*	
Resíduo	35	8958,2	36,5	5292490,8	1739,3	20,4	67,3	0,46	0,0005	0,02	0,02	0,07

Tabela 3A: Análise de variância da eficiência de uso do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, zinco, manganês e boro das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidas à elevação dos níveis de cálcio (0; 0,37; 0,76 e 1,52 g L⁻¹) coletados aos 120 dias de condução do experimento.

Causas de variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
		Q. M.										
Bloco	5	0,011	4,38	0,015	0,26	3,28	100,61	3365,55	1179504,66	18339,38	8233,93	6398,11
Espécies	1	0,152*	142,28*	0,131*	1,78*	7,70	569,32*	15864,96*	4069974,32	326746,18*	362958,88*	83390,85*
Cálcio	3	0,624*	28,92*	0,038	18,32*	66,69*	155,12	5336,61	5132686,92	523745,77*	246290,99*	1481,99
Esp x Cal	3	0,001	2,37	0,005	0,85*	2,90	107,98	2460,89	1303383,73	130299,02	68841,06*	8072,95
Regressão	1	1,429*	79,46*		44,57*	196,58*				1069233,57*	271250,91*	
Resíduo	35	0,036	4,91	0,027	0,26	8,07	64,93	2687,65	6874447,64	50789,35	22161,26	11291,98

ARTIGO 5:

Tabela 1A: Análise de variância da sobrevivência das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidas à elevação dos níveis de boro (0; 1; 2,5 e 10 mg dm³) coletados aos 120 dias de condução do experimento.

Causas de variação	G. L.	% Sobrevivência
		-----QM-----
Bloco	4	0,829
Espécie	1	41,473*
Boro	3	35,677*
Esp x Bor	3	30,221*
Resíduo	28	0,829

Tabela 2A: Análise de variância do incremento em altura (INC H) e diâmetro (INC D), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) massa seca das raízes (MSR), comprimento (CR), área superficial (ASR), diâmetro médio (DMR) e volume das raízes (VOL) das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidas à elevação dos níveis de boro (0; 1; 2,5 e 10 mg dm³) coletados aos 120 dias de condução do experimento.

Causas de variação	G.L.	INC H	INC D	AF	MSPA	MSR	CR	ASR	DMR	VOL
		Q. M.								
Bloco	4	46,68	1,88	1643603,0	40,71	1,21	2536234,0	51230,68	0,017	10,61
Espécies	1	1653,25*	228,06*	32311780,0*	1205,22*	4,01*	634792,8	486475,2*	0,209*	592,50*
Boro	3	34,24	0,55	244899,8	16,71	0,17	66831,12	3661,10	0,002	3,21
Esp x Bor	3	27,69	1,20	23584,9	6,41	0,13	184186,3	6687,54	0,003	2,13
Resíduo	26	41,26	0,63	317907,2	11,66	0,85	614178,0	33503,52	0,004	16,53

Tabela 3A: Análise de variância do conteúdo foliar do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, zinco, manganês e boro das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidas à elevação dos níveis de boro (0; 1; 2,5 e 10 mg dm³) coletados aos 120 dias de condução do experimento.

Causas de variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
		Q. M.										
Bloco	4	26338,8	89,6	3479,9	1543,1	299,2	60,6	0,44	0,00193	0,10347	3,601	0,035
Espécies	1	267219,7*	231,4*	55156,1*	27593,7*	670,8*	7075,2*	2,24*	0,00562*	0,00001	0,005	0,327*
Boro	3	11692,4	56,1	1392,9	1231,3	68,3	136,7	0,28	0,00055	0,04468	0,490	0,076*
Esp x Bor	3	673,4	12,9	488,1	252,1	17,4	37,8	0,21	0,00019	0,01280	0,434	0,012
Resíduo	26	4818,8	25,4	993,5	905,1	42,3	73,3	0,25	0,00040	0,02702	1,162	0,011

Tabela 4A: Análise de variância da eficiência de uso do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, zinco, manganês e boro das mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e cedro rosa (*Cedrela fissilis*), submetidas à elevação dos níveis de boro (0; 1; 2,5 e 10 mg dm³) coletados aos 120 dias de condução do experimento.

Causas de variação	G.L.	Q. M.										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Bloco	4	26338,7	89,63	3479,91	1543,07	299,11	60,65	0,44	0,0019	0,10347	3,601	0,035
Espécies	1	267219,7*	231,40*	55156,09*	27593,74*	670,81*	7075,24*	2,24*	0,0056*	0,00001*	0,005*	0,327*
Boro	3	11692,4	56,12	1392,88	1231,27	68,27	136,69	0,28	0,0006	0,04468	0,490	0,076*
Esp x Bor	3	673,359	12,92	488,13	252,15	17,37	37,78	0,21	0,0002	0,01280	0,435	0,012
Resíduo	26	4818,78	25,39	993,55	905,13	42,27	73,27	0,25	0,0004	0,02702	1,162	0,011