



**IVETE FREDERICO MALULEQUE**

**QUALIDADE DE MUDAS E PRODUTIVIDADE  
DE MINICEPAS DE CLONES DE CEDRO  
AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roemer var.  
*australis*) TRATADAS COM PACLOBUTRAZOL**

**LAVRAS - MG**

**2014**

**IVETE FREDERICO MALULEQUE**

**QUALIDADE DE MUDAS E PRODUTIVIDADE DE MINICEPAS DE  
CLONES DE CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roemer var.  
*australis*) TRATADAS COM PACLOBUTRAZOL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração de Ciências Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado

Coorientador

Dr. Natalino Calegario

**LAVRAS - MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Maluleque, Ivete Frederico.

Qualidade de mudas e produtividade de minicepas de clones de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*) tratadas com paclobutrazol / Ivete Frederico Maluleque. – Lavras : UFLA, 2014.

104 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Bibliografia.

1. Cedro australiano - Mudas - Produção. 2. Cedro australiano - Retardantes de crescimento. 3. Meliaceae. 4. Cedro australiano - Mudas - Propagação vegetativa. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.975656

**IVETE FREDERICO MALULEQUE**

**QUALIDADE DE MUDAS E PRODUTIVIDADE DE MINICEPAS DE  
CLONES DE CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roemer var.  
*australis*) TRATADAS COM PACLOBUTRAZOL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração de Ciências Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 02 de dezembro de 2013.

Dr. Natalino Calegario                      UFLA

Dr. Lucas Amaral de Melo                UFRRJ

Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado  
Orientador

**LAVRAS-MG**

**2014**

*A DEUS, pelo dom da vida.*

*Ao meu pai (in memoriam) e a minha mãe, pelo exemplo de honestidade, coragem e luta.*

*Aos meus amados filhos Daniela e Larsen pelo sacrifício durante o tempo em que estive ausente, minha eterna gratidão.*

*Em especial ao meu grande amigo, meu marido Morgado Furruma, pela compreensão, incentivo e apoio em mais uma etapa da minha vida*

*Aos meus irmãos pelo apoio, afeto e amizade,*

*Dedico*

*A toda minha família*

*Ofereço.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar o meu caminho e tudo que precisei para vencer mais essa etapa da vida.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao Ministério de Ciência e Tecnologia de Moçambique pela bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Florestais (DCF) da UFLA pela oportunidade de realização do Mestrado.

Ao meu orientador Professor Sebastião Carlos da Silva Rosado, e ao meu coorientador Professor Natalino Calegario, pelos ensinamentos, paciência, amizade e acima de tudo pela confiança demonstrada.

Aos proprietários e funcionários do Viveiro Bela Vista Florestal, pela doação dos materiais e valioso auxílio na condução dos experimentos.

A todos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelos ensinamentos transmitidos, harmoniosa convivência, que grande contribuíram para a minha formação.

À Cenir, Elias, Joelma, Thiago, Diana, Helane, Nicelle, Muianga, Joel, dona Zaira, pelo apoio prestado, valeu muito.

A todos os colegas do laboratório de conservação genética de espécies arbóreas no DCF pela grande oportunidade de convivência agradável, amizade, carinho, conselhos e apoio. A força de vocês foi essencial, obrigada.

Aos funcionários e técnicos do DCF pelo apoio e simpatia que sempre demonstraram.

Ao Instituto de Investigação Agrária de Moçambique, pela oportunidade concedida para prosseguir com os estudos no Brasil.

À congregação da 1ª Igreja Presbiteriana de Lavras que me recebeu com muito carinho e hospitalidade, em especial a classe administrando vidas, Deus continue vos abençoando.

Aos amigos que sempre me apoiaram, e em especial aos meus compatriotas (africanos, moçambicanos), que juntos fizemos este “longo percurso fora de casa”, pela amizade, encorajamento, minha eterna gratidão.

Aos membros da banca de qualificação e de defesa pelas valiosas críticas e sugestões para a melhoria deste trabalho.

Agradeço a toda minha família pelo carinho, apoio e o entendimento da minha ausência para que eu pudesse realizar mais este sonho, esta vitória é vossa também. Kxanimambo.

A todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, vai o meu grande carinho.

**A todos o meu “MUITO OBRIGADA!”**

*“Porque dele, e por meio dele, e para ele são todas as coisas.  
A ele, pois, a glória eternamente. Amém!”  
Romanos 11:36.*

## RESUMO GERAL

Os reguladores de crescimento, apesar do seu potencial, são pouco utilizados para a melhoria da qualidade de mudas florestais. Objetivou-se neste trabalho estudar os efeitos de doses de paclobutrazol (PBZ) no crescimento, qualidade morfológica de mudas e produtividade de minicepas de minijardins clonais de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*. Foram estabelecidos dois experimentos em delineamento de blocos completos casualizados em arranjo fatorial, onde se utilizaram no primeiro, três clones (BV1110, BV1120, BV1321) e no segundo quatro clones (BV1110, BV1120, BV1150 e BV1321), combinados com quatro doses de PBZ (0; 15, 30 e 60 mg.l<sup>-1</sup>). As características avaliadas no primeiro experimento foram o crescimento das plantas [altura total da planta (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR)], os índices morfológicos [índice de robustez (IR), razão de MSR.MSPA<sup>-1</sup> (RRA) e índice de qualidade de Dickson (IQD)], e no segundo foram o número de axilas e cicatrizes foliares, e produção de miniestacas em minijardim clonal. O crescimento de mudas foi avaliado aos zero, 20, 40, 80, 100 e 130 dias; os índices de qualidade morfológica, bem como o número de axilas e cicatrizes foliares foram avaliados aos 130 dias após a aplicação do PBZ. A produção de miniestacas foi avaliada em 22 coletas sucessivas no período de outono e inverno. Para cada característica avaliada dentro de cada clone, foram testados modelos polinomiais para o efeito de doses de PBZ ou teste de Scott e Knott para comparações entre médias. O PBZ foi efetivo para a redução da taxa de crescimento em altura em todos os clones, sem nenhum incremento no diâmetro do colo, melhorando assim o índice de robustez, e teve efeito significativo para o RRA e IQD do clone BV1321. A dose de 15 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ proporcionou o aumento do número de miniestacas no clone BV1120, podendo ser essa a dose mais indicada para a miniestaquia da espécie.

Palavras-chave: *Meliaceae* Retardantes de crescimento. Produção de mudas. Propagação vegetativa.

## GENERAL ABSTRACT

The growth regulators, despite their potential, they are underutilized for improving the quality of tree seedlings. The objective of this work was to study the doses effects of paclobutrazol (PBZ) on growth, morphological seedling quality and productivity of mini-stumps of clonal mini-gardens of *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*. Two experiments were conducted in randomized block design with a factorial arrangement. In the first experiment were used three clones (BV1110, BV1120, BV1321) and in the second four clones (BV1110, BV1120, BV1150 and BV1321), combined with four doses of PBZ (0; 15, 30 and 60 mg.l<sup>-1</sup>). The characteristics evaluated in the first experiment were the growth of plants [total plant height (H), stem diameter (SD), shoot dry mass (SDM), root dry mass (RDM)], morphological indices [sturdiness index (SI), RDM.SDM<sup>-1</sup> (RAR) and Dickson quality index (DQI)], and in the second experiment were evaluated the number of axillary and leaves scars, and production of mini-cuttings in clonal mini-garden. The seedlings growth was evaluated at zero, 20, 40, 80, 100 and 130 days. The indexes of morphological quality, as well as the number of axillary and leaves scars were evaluated at 130 days after PBZ application. The production of mini-cuttings was evaluated in 22 successive collections during autumn and winter period. For each characteristic evaluated in each clone, polynomial models were tested for the effect of PBZ doses or Scott & Knott test for comparisons between means. The PBZ was effective to reduce the growth rate at height in all clones, without any significant increment in stem diameter, also improved sturdiness index and had a significant effect to the RAR and DQI of the clone BV1321. The dose 15 mg.l<sup>-1</sup> of PBZ provided an increased number of mini-cuttings in the clone BV1120, being probably this the most appropriate dose for the mini-cuttings of the species.

Keywords: *Meliaceae* growth retardants. Seedling production. Vegetative propagation.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1 Estrutura química do paclobutrazol. Fonte: Rademacher (2000)... 22

### CAPÍTULO 2

Figura 1 Evolução temporal da altura e diâmetro do colo em mudas clonais de *Toona ciliata* (BV1110, BV1120 e BV1321) tratadas com paclobutrazol..... 52

Figura 2 Valores médios dos índices de robustez (IR), razão MSR.MSPA<sup>-1</sup> (RRA) e índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Toona ciliata* de três clones (BV1110, BV1120, BV1321) tratadas com quatro doses de paclobutrazol (0 mg.l<sup>-1</sup>; 15 mg.l<sup>-1</sup>; 30 mg.l<sup>-1</sup>; 60 mg.l<sup>-1</sup>). As médias dentro de clones seguidas pelas mesmas letras minúsculas e médias entre clones seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ )..... 61

Figura 3 Aspectos visuais de plantas do clone BV1321 (A= planta tratada com PBZ na dose de 30 mg.l<sup>-1</sup>; B= planta não tratada com PBZ), aos 130 dias após a aplicação de paclobutrazol ..... 66

### CAPÍTULO 3

Figura 1 Produtividade de minicepas por metro quadrado em quatro clones (BV1110, BV1120, BV1150, BV1321) de *Toona ciliata* var. *australis*, em 229 dias de coletas sucessivas, tratados com paclobutrazol (média  $\pm$  desvio padrão). As médias dentro de clones

seguidas pelas mesmas letras minúsculas e entre clones pelas  
mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo  
teste de Scott Knott ( $p \leq 0,05$ ) ..... 92

Figura 2 Evolução temporal da produtividade acumulada de miniestacas por  
metro quadrado, em minijardim clonal (MJC) com quatro clones de  
*Toona ciliata*, avaliada ao longo de 229 dias..... 97

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1 Valores propostos como adequados para avaliação da qualidade de mudas florestais de regiões do Mediterrâneo com um ano de idade, produzidas em tubetes .....	28
---	----

### CAPÍTULO 2

Tabela 1 Equações de regressão selecionadas em função do tempo (dias) após a aplicação de paclobutrazol e respectivos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e erro padrão residual ( $S_{y_x}$ ) para a altura total e diâmetro do colo das mudas clonais de <i>Toona ciliata</i> var. <i>australis</i> .....	53
Tabela 2 Resumo da análise de variância para as características de altura total (H), diâmetro do colo (DC), massa seca de raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA) de mudas clonais de <i>Toona ciliata</i> var. <i>australis</i> aos 130 dias após a aplicação de doses de paclobutrazol .....	56
Tabela 3 Comparação das médias da massa seca da parte aérea e da massa seca da parte radicular nos clones de <i>Toona ciliata</i> var. <i>australis</i> avaliados aos 130 dias após a aplicação do paclobutrazol .....	57
Tabela 4 Resumo da análise de variância para os índices morfológicos avaliados em mudas clonais de <i>Toona ciliata</i> : índice de robustez (IR), razão entre massa seca da raiz e da parte aérea (RRA) e índice de qualidade de Dickson (IQD), avaliados aos 130 dias após a aplicação do paclobutrazol .....	59
Tabela 5 Coeficientes de correlação de Pearson ® entre as características altura (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da raiz (MSR), massa seca	

da parte aérea (MSPA), índice de robustez (IR), razão entre massa seca da raiz e da parte aérea (RRA) e índice de qualidade de Dickson (IQD), em mudas clonais de *Toona ciliata* var. *australis* tratadas com paclobutrazol..... 67

### CAPÍTULO 3

Tabela 1	Resumo da análise de variância para o número de axilas e cicatrizes foliares (NACF) de <i>Toona ciliata</i> aos 130 dias após a aplicação de paclobutrazol.....	87
Tabela 2	Comparação das médias do número de axilas e cicatrizes foliares (NACF) em clones de <i>Toona ciliata</i> var. <i>australis</i> avaliados aos 130 dias após a aplicação de paclobutrazol (PBZ).....	88
Tabela 3	Resumo da análise de variância para a produtividade média de miniestacas (PMM) por metro quadrado em <i>Toona ciliata</i> produzidas durante os 229 dias após o desponete das matrizes no minijardim clonal .....	90
Tabela 4	Equações de regressão respectivos coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_a$ ) e erro padrão residual ( $S_{yx}$ ) para a produção acumulada de miniestacas por metro quadrado em mudas clonais de <i>Toona ciliata</i> var. <i>australis</i> avaliadas após a aplicação de paclobutrazol.....	98

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	15
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
<b>2.1</b>	<i>Toona ciliata</i> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Retardantes de crescimento de plantas</b> .....	20
<b>2.2.1</b>	<b>Paclobutrazol</b> .....	22
<b>2.3</b>	<b>Qualidade morfológica de mudas</b> .....	25
<b>2.3.1</b>	<b>Crescimento em altura, diâmetro do colo e peso seco de plantas</b>	26
<b>2.3.2</b>	<b>Índices morfológicos para avaliação de qualidade de mudas</b> ....	28
<b>2.4</b>	<b>Miniestaquia</b> .....	30
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	32
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34
	<b>CAPÍTULO II - CRESCIMENTO E MORFOLOGIA DE MUDAS CLONAIAS DE CEDRO AUSTRALIANO (<i>Toona ciliata</i> M. Roemer var. <i>australis</i>) TRATADAS COM PACLOBUTRAZOL</b> .....	41
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	44
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	46
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	50
<b>3.1</b>	<b>Altura total, diâmetro do colo e produção de massa seca de raiz e da parte aérea</b> .....	50
<b>3.2</b>	<b>Índices de qualidade morfológica de mudas avaliadas</b> .....	59
<b>3.3</b>	<b>Correlação de Pearson para as características avaliadas</b> .....	66
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	70
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71
	<b>CAPÍTULO III – PRODUTIVIDADE DE MINICEPAS DE CEDRO AUSTRALIANO (<i>Toona ciliata</i> M. Roemer var. <i>australis</i>) TRATADAS COM PACLOBUTRAZOL</b> .....	77
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	80
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	82
<b>3.1</b>	<b>Número de axilas e cicatrizes foliares</b> .....	87
<b>3.2</b>	<b>Produtividade de minicepas</b> .....	90
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	100
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	101

## CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL

### 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por madeiras nobres tem despontado o interesse de investimentos em pesquisas e plantios de espécies de rápido crescimento, com alto potencial produtivo e retornos econômicos relevantes, recaindo especialmente para espécies exóticas como é o caso da *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis* (F. Muell.) Bahadur (cedro australiano).

A expansão da cultura do cedro australiano no Brasil pode ser atribuída a uma série de fatores, destacando-se a sua adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, a possibilidade de substituição dos cultivos de mogno e cedros brasileiros pela sua resistência ao ataque da broca do ponteiro (*Hypsipyla grandella*) e pela possibilidade de seu cultivo em áreas de escape do ataque da broca do cedro australiano (*Hypsipyla robusta*). A ausência de danos das referidas pragas e a alta produtividade apresentada, em torno de 20 a 30 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de incremento médio anual em plantios comerciais em áreas localizadas na região sudeste do estado de Minas Gerais (KALIL FILHO; WENDLING, 2012), constituem um impulsionador da expansão dos plantios.

Além dessas referidas características de crescimento e adaptabilidade, outro fator incentivador para os cultivos do cedro australiano em escala comercial é a sua capacidade de produzir troncos retos e com dominância apical (NASSUR et al., 2013), bem como madeira de excelente qualidade para a fabricação de móveis, sendo equiparada a dos cedros (*Cedrela odorata* L. e *Cedrela fissilis* Vell.) (SOUZA; BARROSO; CARNEIRO, 2010). Na Austrália é considerada uma das espécies produtoras das melhores madeiras (MÜLLER et al., 2004).

Inserido no programa de melhoramento genético da espécie, iniciado em 2007 nas dependências da empresa Bela Vista Florestal, em Minas Gerais, vêm sendo selecionados genótipos com boa estabilidade e homogeneidade (SANTOS, 2011). Desse programa de melhoramento foi possível a geração de clones para uso na silvicultura clonal.

Entretanto, para que o sistema de condução de plantações clonais de cedro australiano seja conduzido de forma intensiva, alguns gargalos tecnológicos devem ser solucionados. Dentre esses, destaca-se a necessidade de produção de mudas de alta qualidade para que possam resistir melhor aos estresses ambientais no campo, e melhorar a eficiência do processo de propagação clonal por miniestaquia, principalmente no período de inverno, quando as minicepas de minijardins clonais têm os seus processos fisiológicos muito modificados, principalmente em decorrência da própria fenologia da espécie que tem comportamento caducifólio nas épocas de redução da temperatura (HEINRICH et al., 2008).

Observações de viveiro mostram que no período frio, as minicepas de cedro australiano passam por um processo de dormência, acarretando um considerável declínio na produção de miniestacas.

Esse gargalo torna-se ainda mais crítico nas condições climáticas do sudeste brasileiro, onde os períodos de noites frias ocorrem de forma mais intensa, nos meses de junho e julho. Esse fenômeno compromete a safra de mudas que deve estar pronta para plantio no período chuvoso subsequente, que normalmente inicia em setembro e se prolonga até março.

Na literatura especializada em reguladores de crescimento existem indicações de que a abscisão foliar pode ser solucionada ou mitigada, com a utilização de reguladores de crescimento que promovem alterações morfofisiológicas nas plantas.

Dentre esses reguladores, um destaque tem sido dado para o paclobutrazol (PBZ), devido, principalmente, aos seguintes fenômenos biológicos: i) inibição da biossíntese de giberelinas com consequente quebra da dormência de gemas axilares (MØLMANN et al., 2005); ii) aumentos nos teores de clorofila, provocando alterações na taxa fotossintética e nos teores de carboidratos (DAVIS, 1991); iii) estímulo à produção de substâncias antioxidantes que auxiliam no aumento da resistência das plantas quando em condições de estresses bióticos e abióticos (CHANEY, 2003); e iv) promoção de significativas mudanças na morfologia das plantas, reveladas pela redução do porte das mudas, pelo menor tamanho e maior rigidez das folhas, na redução do tamanho dos entrenós, induzindo a formação de aglomerados de gemas axilares que surgem em mosaicos (ALBANY et al., 2005).

São diversas as potencialidades para a utilização do paclobutrazol na produção de mudas em viveiro. Entre as vantagens de utilização desse regulador de crescimento se mencionam a possibilidade de utilização como alternativa às podas foliares de mudas em viveiro (AVIDAN; EREZ, 1995), manipulação das mudas para padrões de tamanho desejado, melhoria da adaptação das mudas ao estresse hídrico e a redução da perda de estoque de mudas entressafras (RIETVELD, 1988).

Pela importância que o cedro australiano vem ganhando no setor florestal brasileiro e pela necessidade de se aperfeiçoar a silvicultura clonal dessa espécie, foi conduzido o presente estudo, com o objetivo geral de estudar os efeitos de doses de paclobutrazol (PBZ) no crescimento e qualidade morfológica de mudas clonais e na produtividade de minicepas de minijardins clonais de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Toona ciliata*

O cedro australiano [*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis* (F. Muell.) Bahadur], também conhecido como cedro-vermelho-da-Austrália ou touína, é uma espécie arbórea caducifólia exótica no Brasil, pertencente à família *Meliaceae*, que pode alcançar um porte de 20 a 35 m de altura, apresentando tronco retilíneo e cilíndrico, revestido com casca suberosa de coloração amarronzada (LORENZI et al., 2003).

A espécie é de ampla distribuição natural em países do sudeste asiático como Bangladesh, Birmânia, China, Filipinas, Índia, Indonésia, Malásia e Tailândia (LAMPRECHT, 1990). Porém, a *Toona ciliata* variedade *australis*, originária da Austrália, é atualmente plantada em regiões tropicais e subtropicais, incluindo o Brasil (GRAU; ZAPATER; NEUMANN, 2006).

Cresce em regiões com altitudes que variam de 0 até 1500 m no máximo, temperatura anual entre 20 e 26°C, podendo sobreviver a temperaturas abaixo de 0°C. A espécie prefere precipitação anual que varia de 800 mm a 1800 mm (4000 mm no máximo), embora a *variedade australis* seja de regiões com precipitação mínima de 1500 mm (LAMPRECHT, 1990).

Em plantios comerciais essa espécie tem o potencial para atingir um incremento médio anual em torno de 20 a 30 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; e no estado de Minas Gerais são encontrados plantios de 12 anos de idade com 20 m de fuste e 40 cm de diâmetro à altura do peito (KALIL FILHO; WENDLING, 2012).

O cedro australiano desenvolve-se bem em solos bem drenados, profundos e eutróficos podendo ocorrer em solos calcários, devendo ser evitados os solos úmidos compactados, arenosos e pobres (LAMPRECHT, 1990).

As características da madeira do cedro australiano são similares às do cedro (*Cedrella fissillis* Vell.) e mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), podendo o seu cultivo reduzir a pressão de exploração das árvores nativas. A madeira do cedro australiano é de coloração vermelho-clara que escurece com o tempo, é brilhante, tem peso médio, textura moderadamente grosseira, mas uniforme, grã direita a levemente revessa e boa trabalhabilidade (NISGOSKI et al., 2011).

O cedro australiano possui madeira com diversas aplicações, desde a construção de embarcações, marcenaria, caixas de fósforos e de charutos, madeira compensada decorativa, laminados, instrumentos musicais, móveis, acabamentos interiores, usos exteriores, molduras, painéis, materiais de construção. Além do uso como sólidos de madeira, a espécie pode ser usada para extração de óleos aromáticos nos frutos, como ornamental, quebra-vento, repelente de insetos, na apicultura e forragem para o gado (LAMPRECHT, 1990; ORWA et al., 2009).

O cedro australiano é uma espécie com fuste retilíneo e boa desrama natural, com ausência de nós ao longo do seu fuste, pode ser plantado com espaçamento de 3 x 2 m e 3 x 3 m (KALIL FILHO; WENDLING, 2012).

A espécie tem boa capacidade de rebrota de touça e emissão de raízes. Tem um sistema radicular superficial que pode competir com espécies agrícolas. Dependendo do espaçamento e da qualidade do sítio, o primeiro desbaste pode ser realizado no quarto ano, sendo os posteriores feitos a cada cinco anos (ORWA et al., 2009).

Diversos estudos (BYGRAVE; BYGRAVE, 2001; GRIFFITHS, 2001; NASSUR et al., 2013), apontam a ocorrência da perda da dominância apical das plantas de espécies florestais da família *Meliaceae* quando atacadas pela lagarta (*Hypsipyla*), conduzindo à depreciação do valor comercial da sua tora no mercado. Entretanto, o cedro australiano se revela resistente ao ataque de

*Hypsipyla grandella*, que tem como hospedeiros preferidos as espécies dos gêneros *Cedrela* e *Swietenia* (GRAU; ZAPATER; NEUMANN, 2006).

O cedro australiano era propagado exclusivamente por sementes, apesar de a mesma ocorrer de forma sazonal e com curta viabilidade (LORENZI et al., 2003; SCOCCHI et al., 2004). Porém, atualmente têm surgido avanços no desenvolvimento de protocolos para a propagação vegetativa, como por exemplo, os estudos publicados por Benatti et al. (2012), Silva, Moraes e Mori (2012) e Souza et al. (2009).

A espécie possui exigências específicas em termos de produção de mudas. Ao se testarem, em viveiro, as matrizes clonais do cedro australiano, verificou-se a alta exigência nutricional e do tipo de substrato para que as mesmas alcançassem padrões aceitáveis de qualidade morfológica (BENATTI et al., 2012).

## **2.2 Retardantes de crescimento de plantas**

Os retardantes de crescimento de plantas são compostos sintéticos que fazem parte dos reguladores de crescimento, que atuam reduzindo o crescimento vegetativo da planta sem alterar seus padrões de desenvolvimento nem apresentar efeitos fitotóxicos (RADEMACHER, 2000).

Quanto ao seu efeito nas estruturas morfológicas de plantas, os retardantes de crescimento são antagônicos às giberelinas e auxinas, que são reguladores de crescimento responsáveis pelo alongamento celular (RADEMACHER, 2000). Diversos tipos de retardantes de crescimento de plantas se encontram disponíveis no mercado, porém, os mais conhecidos e utilizados são os que estão envolvidos na inibição da biossíntese de giberelinas (ARTECA, 1996; SPONSEL, 2009).

O interesse na utilização de retardantes de crescimento se deve ao seu efeito na redução da taxa de alongamento do caule e da divisão celular (GAUSMAN, 1991), indução da dormência precoce das gemas das plantas em viveiro visando à obtenção de mudas mais resistentes devido à adequada proporção entre a parte radicular e aérea da mesma (ROOS et al., 1983).

Um dos principais usos dos retardantes de crescimento na agricultura tem sido no controle do acamamento das plantas e para facilitar a colheita de vários tipos de cereais e grãos como o trigo e arroz. Em plantas perenes, relata-se a utilização desses produtos em fruteiras de grande valor comercial como macieira, pereira, pessegueiro, oliveira, entre outras com o objetivo de melhorar a floração e produção de frutos (ARTECA, 1996).

O uso adequado de reguladores de crescimento no setor florestal é de grande utilidade para as atividades de melhoramento, produção de sementes, germinação e crescimento de mudas, propagação vegetativa e acondicionamento das mudas para plantio no campo (ROSS; PHARIS; BINDER, 1983), podendo a sua eficácia variar com a espécie, a variedade, o método de aplicação e a concentração utilizada (SILVA; FARIA JÚNIOR, 2011).

Relata-se que desde os anos 70, dois grupos de retardantes de crescimento de árvores foram desenvolvidos, sendo os do tipo I, considerados inibidores de divisão celular; e os do tipo II, inibidores do alongamento celular. Nesse contexto, os retardantes de crescimento do tipo II, do qual fazem parte o paclobutrazol, uniconazole e flurprimidol, se expandiram no mercado devido à sua viabilidade comercial (CHANEY, 2003).

### 2.2.1 Paclobutrazol

Paclobutrazol (PBZ) é um retardante de crescimento, normalmente usado para controlar o crescimento vegetativo das plantas, possibilitando a supressão de crescimento devido à sua ação no bloqueio da biossíntese de giberelinas endógenas (DAVIS, 1991; FERRACINI et al., 2008). As giberelinas são frequentemente associadas à promoção do crescimento do caule, portanto, sua aplicação em plantas intactas pode estimular o alongamento e divisão celulares (TAIZ; ZEIGER, 2004).

De acordo com Costa, Tornisielo e Regitano (2008) e Milfont et al. (2008), o PBZ, com o nome químico ([2RS, 3RS]-1-[4-clorofenil]-4,4- dimetil-2-[1,2,4-triazol-1-il]-pentano-3-ol), também conhecido por seu nome comercial, *cultar*<sup>®</sup>, é um fitorregulador pertencente ao grupo químico triazol, com classificação toxicológica classe III (pouco tóxico), com a fórmula empírica de  $C_{15}H_{20}N_3ClO$  e estrutura química ilustrada na figura 1.

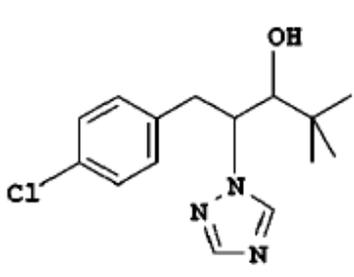


Figura 1 Estrutura química do paclobutrazol. Fonte: Rademacher (2000)

Esse regulador de crescimento é bastante utilizado na floricultura e fruticultura com a finalidade de estimular a boa floração, frutificação, fixação dos frutos na planta (ABDOLLAHI et al., 2012; FERRACINI et al., 2011), reduzir o porte das plantas (CHANEY, 2003) e aumentar a tolerância aos estresses bióticos e abióticos (BANINASAB; GHOBADI, 2011).

Na área florestal o PBZ tem grandes potencialidades de aplicação, particularmente em viveiros, podendo ser utilizado como alternativa a poda de ramos das mudas, para manipular o seu crescimento para tamanhos específicos, melhorar a adaptação das mudas ao estresse hídrico, reduzindo a proporção entre a parte aérea e radicular da muda, e também pode ser usado para deter o crescimento das mudas para o plantio em época ideal no campo com tamanho desejado se a produção em viveiro for adiada (RIETVELD, 1988).

Em estudos onde se avalia o efeito do PBZ sobre parâmetros morfológicos de mudas de espécies florestais em viveiro, Abod e Yasin (2002) comprovaram a eficácia do PBZ na redução do incremento em altura em plantas de *Acacia mangium* pela aplicação foliar usando doses que variaram de zero a 15 mg.l<sup>-1</sup>. Resultados similares foram obtidos por Rietveld (1988) testando o mesmo regulador de crescimento em mudas de coníferas como *Pinus banksiana*, *Pinus resinosa*, e *Larix laricina*, aplicando doses que variaram de zero a 20 mg de ingrediente ativo por planta.

Para além da utilização em viveiro, o PBZ pode ser aplicado em outras atividades florestais. Williams, Potts e Smethurst (2003) relatam que o PBZ pode ser usado como uma ferramenta importante para maximizar a produção de sementes de eucalipto promovendo a floração precoce e abundante. Os referidos autores obtiveram resultados satisfatórios de produção de sementes de *Eucalyptus nitens* após aplicação de PBZ combinada com adubação nitrogenada. Tais resultados foram também obtidos por Hasan e Reid (1995), em plantas de *Eucalyptus globulus* e por Moncur e Hasan (1994) em *Eucalyptus nitens*. Por outro lado, Silva, Moraes e Mori (2012) afirmaram ser adequada a utilização do PBZ em pomares de produção de sementes de *Eucalyptus*, pelas empresas florestais brasileiras.

Além dos efeitos desse regulador de crescimento no estímulo à floração precoce e abundante, também são relatados resultados no enraizamento de

estacas. O trabalho de Chaney (2003) aborda a resposta das raízes face à aplicação do PBZ, afirmando que sua aplicação é uma ferramenta importante no manejo das plantas por proporcionar o aparecimento de maior quantidade de raízes finas, garantindo benefícios à planta, na absorção de água e melhor vigor e saúde da mesma.

Adicionalmente aos referidos efeitos do PBZ, Watson (1996) descreve que os tratamentos com PBZ em *Quercus palustris* e *Q. Alba* mostraram efeitos significativos no estímulo à formação de raízes finas, aumentando significativamente a sua densidade no solo superficial e, conseqüentemente, favorecendo a revitalização de árvores em senescência.

Um fenômeno ainda pouco estudado entre os triazóis, incluindo o PBZ, é que após um período de inibição do crescimento das gemas, segue-se um aumento acelerado no crescimento das mesmas, o que pode estar relacionado com o acúmulo de carboidratos e minerais durante o período de inibição do crescimento, fato que pode impulsionar o seu crescimento após a dissipação do efeito inibitório (DAVIS, 1991).

O PBZ pode ser aplicado diretamente no solo ou por pulverizações foliares. Em diversos estudos tem-se evidenciado que a aplicação do PBZ ao solo e subsequente absorção pelas raízes resulta em efeitos mais eficientes (PARDOS et al., 2005). As dosagens de aplicação variam em função do cultivar, do porte, do estado nutricional da planta e das condições climáticas (FERRACINI et al., 2008).

Embora o PBZ seja um produto de alta persistência no solo, a sua mobilidade nesse meio é relativamente baixa, reduzindo o perigo de contaminação por lixiviação (FERRACINI et al., 2008). São citados casos de meia vida em solos de pomares em torno de 3 a 12 meses (ADRIANSEN; ODGAARD, 1997) ou até vários anos dependendo da dosagem aplicada

(DAVIS, 1991), fato que pode afetar cultivos subsequentes pela redução do seu vigor vegetativo.

Mesmo depois de vários anos de pesquisa com os triazóis, persistem ainda dúvidas sobre dosagens apropriadas a aplicar para cada espécie, considerando as diversas variáveis ambientais envolvidas, apesar de reconhecida a sua baixa fitotoxicidade (DAVIS, 1991).

### **2.3 Qualidade morfológica de mudas**

O estabelecimento de plantações bem sucedidas depende da utilização de plantas que apresentam características morfológicas e fisiológicas que garantam uma sobrevivência e crescimento adequado de acordo com as condições ambientais locais. Esse aspecto torna-se ainda mais relevante se os plantios forem realizados em condições ambientais adversas, evitando-se replantios, gastos desnecessários e maiores rendimentos (GOMES et al., 2002).

Por várias décadas, a medição de características morfológicas e fisiológicas tem sido utilizada como ferramentas para a predição do desempenho das mudas em campo (JACOBS et al., 2004). Puttonen (1985) conceitua características morfológicas como sendo aqueles atributos que descrevem as estruturas e formas externas das plantas, mensuradas em diferentes escalas (nominal, ordinal, intervalos, índices). Assim, é de esperar que o manejo de mudas em viveiro, assim como as práticas silviculturais tenham grande influência no desempenho das plantas imediatamente após o plantio em campo (GROSSNICKLE, 2012).

Portanto, para além de predizer o desempenho das mudas em campo, o principal objetivo da avaliação da qualidade de mudas é também de melhorar as práticas de produção e de manuseio no viveiro para que adquiram essas propriedades funcionais (DURYEA, 1985; VILLAR-SALVADOR;

PUERTOLAS; PENUELAS, 2009), minimizando os custos, tempo e perda de plantas em campo.

A qualidade da muda está diretamente relacionada com a sua composição genética, tamanho da planta e condições ambientais esperadas no local de plantio, podendo ser diretamente influenciada pelas práticas de manuseio, plantio e armazenamento (DAVIS; JACOBS, 2005).

Diversos aspectos devem ser considerados para que a muda seja considerada de boa qualidade. Gonçalves et al. (2000) afirmam ser ideal que as mudas de boa qualidade aparentem um bom estado nutricional, com altura entre 20 e 35 cm, diâmetro do colo entre 5 e 10 mm, caule com dominância apical, ampla área foliar, boa estrutura radicular e com grande quantidade de raízes finas.

Segundo Johnson e Cline (1991), a avaliação da qualidade de mudas é complexa, e passa pelo estudo dos aspectos tanto morfológicos quanto fisiológicos. Porém, tradicionalmente, a caracterização morfológica das mudas tem sido a forma mais fácil e mais usada para avaliar a sua qualidade (RITCHIE, 1984).

### **2.3.1 Crescimento em altura, diâmetro do colo e peso seco de plantas**

Diversas características relacionadas ao crescimento têm sido utilizadas para avaliar a qualidade de mudas. Benincasa (2003) afirma que a análise de crescimento é realizada avaliando a variação de tamanho de alguns aspectos da planta, geralmente morfológicos, por meio de medidas lineares, superficiais, volumétricas, peso e número de unidades estruturais. A referida autora acrescenta ainda que entre as várias dimensões lineares que podem ser utilizadas menciona-se a altura da planta, comprimento do caule, diâmetro do caule e o comprimento de entrenós.

Pela facilidade de medição, a altura da planta, o diâmetro do colo, a produção de massa seca da parte aérea, radicular ou total da planta são características que têm sido frequentemente utilizadas para avaliar a qualidade morfológica das plantas em viveiro (BINOTTO; LÚCIO; LOPES, 2010; CARNEIRO, 1995; DURYEA, 1985; GROSSNICKLE, 2012).

A altura da planta, normalmente, apresenta uma boa correlação com o crescimento em campo, porém, é indicador imprevisível quanto à sobrevivência, especialmente em ambientes predispostos à deficiência hídrica (THOMPSON, 1985).

O diâmetro do colo é considerado uma variável que tem uma correlação positiva com a sobrevivência das mudas no campo, onde plantas que apresentam seus valores mais altos tendem a ser mais resistentes a vários estresses, especialmente danos causados por animais e ao calor (JOHNSON; CLINE, 1991). Esse fato é confirmado por South e Rakestraw (2004). Esses autores observaram que mudas de *Pinus elliottii* com 9,2 mm de diâmetro do colo e sem tratamentos com agroquímicos, quando plantadas adequadamente, apresentaram alta sobrevivência em campo (86%) quando comparadas com mudas da mesma espécie com 4,2 mm de diâmetro, que apresentaram sobrevivência baixa (53%). Por esse fato, foi verificada a redução em mais de 50% nos custos de replantio.

O peso seco das plantas tem sido pouco utilizado como critério de avaliação da qualidade da muda por ser uma avaliação destrutiva e morosa. Normalmente, para a avaliação dessa variável é utilizada toda a planta ou partes como ramos, raízes, folhas, separadamente (THOMPSON, 1985).

De forma ilustrativa é representada na tabela 1 uma escala de avaliação de altura e diâmetro do colo de mudas, utilizada como padrão adequado para mudas de regiões do Mediterrâneo.

Tabela 1 Valores propostos como adequados para avaliação da qualidade de mudas florestais de regiões do Mediterrâneo com um ano de idade, produzidas em tubetes

<b>Espécie</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Diâmetro do colo (mm)</b>
<i>Pinus halepensis</i>	15-30	3-4
<i>Pinus pinea</i>	20-30	3,5-4,5
<i>Quercus ilex</i>	20-30	4-5

Adaptado de Villar-Salvador, Puertolas e Penuelas (2009)

### **2.3.2 Índices morfológicos para avaliação de qualidade de mudas**

Tal como os parâmetros de crescimento, os índices morfológicos são também utilizados para avaliar a qualidade de mudas. Esses índices resultam da combinação entre duas ou mais características biométricas, e servem para indicar o equilíbrio, a robustez ou importância relativa da característica medida na planta (THOMPSON, 1985).

A partir das características como altura, diâmetro do colo ou massa seca da planta foram desenvolvidos diversos índices que indicam o equilíbrio entre diferentes partes da planta. Entre os mais utilizados se mencionam a razão entre a massa seca da parte aérea e radicular (VILLAR-SALVADOR; PUERTOLAS; PENUELAS, 2009), a razão entre a altura e diâmetro do colo, denominado índice de robustez, razão entre a altura da parte aérea com a massa seca da parte aérea (GOMES; PAIVA, 2011), e índice de qualidade de Dickson (JOHNSON; CLINE, 1991).

Binotto, Lúcio e Lopes (2010) relatam que as características relacionadas com a massa seca são as mais correlacionadas com o índice de qualidade de Dickson e em seguida o diâmetro do colo. Porém, Carneiro (1995) ressalta que qualquer índice morfológico desenvolvido deve considerar a espécie e o sítio.

O índice dado pela razão entre a massa seca da parte aérea e radicular revela o potencial do equilíbrio entre a transpiração e a absorção de água na planta (RITCHIE 1984; THOMPSON, 1985). Villar-Salvador, Puertolas e Penuelas (2009) relatam que lotes de plantas com valores elevados desse índice podem sofrer estresse hídrico se novas raízes não tiverem sido formadas ou se o solo estiver demasiadamente seco. Portanto, em regiões predispostas à seca é ideal utilizar lotes de plantas que apresentam valores baixos desse índice para garantir maior sobrevivência e crescimento.

O índice de robustez é dado pela razão entre a altura da parte aérea em cm e o diâmetro do colo da muda em mm, com a vantagem de ser um método não destrutivo (HAASE, 2008). Esse índice representa o equilíbrio de crescimento da planta (THOMPSON, 1985). É referido que quanto menor for o seu valor, melhor é a capacidade das mudas sobreviverem em campo (CARNEIRO, 1995; HAASE, 2008), especialmente aos danos físicos ou estresses por escassez de água (JOHNSON; CLINE, 1991).

O índice de robustez é considerado um dos melhores parâmetros de avaliação das mudas por fornecer informações de quanto delgada ou estiolada está a muda (JOHNSON; CLINE, 1991). Plantas que apresentam baixos valores do índice de robustez são consideradas ideais para ambientes mais áridos (GROSSNICKLE, 2012), especialmente se novas raízes ainda não tiverem emergido, uma vez que mudas estioladas são mais susceptíveis aos estresses ambientais (HAASE, 2008). Villar-salvador, Puertolas e Penuelas (2009) afirmam que plantas com baixos valores do índice de robustez normalmente apresentam alta taxa de sobrevivência.

O Índice de Qualidade de Dickson - IQD (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960) exprime a relação balanceada de características morfológicas como a massa da massa seca total (MST), altura da parte aérea (H), o diâmetro do colo (DC), a massa da massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa da massa

seca da parte radicular (MSR), representado pela expressão:  
$$IQD = \frac{MST(g)}{[H(cm)/DC(mm) + MSPA(g)/MSR(g)]}$$
 (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960).

Esse índice tem sido considerado como um bom indicador da qualidade de mudas, uma vez que considera para o seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa, pois são ponderados vários parâmetros importantes (FONSECA et al., 2002). Quanto maior for o valor de IQD, melhor será o padrão de qualidade da muda (GOMES; PAIVA, 2011).

#### **2.4 Miniestaquia**

A miniestaquia é uma técnica de propagação vegetativa iniciada nos anos 90 (ASSIS; FETT NETO; ALFENAS, 2004) que vem sendo amplamente difundida em diversas empresas do segmento florestal brasileiras, sendo responsável pela produção comercial de milhares de mudas clonais, especialmente em espécies do gênero *Eucalyptus*, podendo ser utilizada para outras espécies lenhosas (BRONDANI et al., 2012; XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009).

O emprego da miniestaquia na espécie *Toona ciliata* no Brasil é recente, podendo se citar entre outros, os estudos publicados por Ferreira et al. (2012) e Souza et al. (2009), que observaram alto potencial de utilização dessa técnica na espécie.

A técnica de miniestaquia é caracteriza-se pela coleta de brotações, de plantas previamente propagadas pelo método de estaquia convencional ou por via seminal, como fontes de propágulos vegetativos para a formação do minijardim clonal (ALFENAS et al., 2004). Os mesmos autores relatam que em miniestaquia, as mudas enraizadas constituem fonte de propágulos para posterior enraizamento, formando minicepas, que no seu conjunto se designam minijardim clonal.

Existem vários tipos de minijardins clonais, porém, o estabelecimento de minicepas em canaletões de amianto ou concreto com leito de areia e fertirrigação por gotejamento é atualmente o mais empregado para espécies do gênero *Eucalyptus* (MAFIA et al., 2005).

A miniestaquia propicia inúmeras vantagens comparativamente à estaquia, destacando-se a redução de área necessária para a formação de minijardim clonal, redução de custos com transporte e coleta das brotações, maior eficiência das atividades de manejo, maior qualidade, velocidade e percentual de enraizamento de miniestacas (XAVIER et al., 2003).

A viabilidade da produção de mudas por miniestaquia depende da capacidade de rebrota das minicepas (ALFENAS et al., 2004). Fatores genéticos, nutricionais, hídricos, sanitários, fisiológicos, bioquímicos, anatômicos, morfológicos e sistemas de cultivo interferem na produtividade de miniestacas de uma planta, podendo ser mensurada pelo incremento da massa seca contida em um órgão, organismo ou população (ALFENAS et al., 2004; VIEIRA et al., 2010).

Em minijardins clonais, as brotações das minicepas podem ser coletadas em intervalos variáveis, em função do clone/espécie, condições ambientais, época do ano, vigor fisiológico das minicepas, nutrição e manejo adotado (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009).

Alfenas et al. (2004) relatam que a produção clonal em miniestaquia abrange diferentes fases desde a produção de brotações, enraizamento das miniestacas, aclimação à sombra, crescimento e rustificação a céu aberto. Dentre essas fases, a produção de brotos e a capacidade de enraizamento do material genético constituem as etapas mais críticas por determinarem os maiores ganhos de produtividade (ALFENAS et al., 2004; MAFIA et al., 2005).

### 3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O sucesso da silvicultura clonal requer a utilização de mudas de qualidade genética e morfológica. A primeira condição de qualidade surge da seleção de genótipos superiores, que quando clonados e cultivados no campo se apresentam produtivos, adaptados e fenotipicamente estáveis, enquanto que a segunda condição é alcançada pela adoção de técnicas adequadas de manejo das mudas em condições de viveiro. Sendo assim, é fundamental identificar na fase de viveiro quais as características de crescimento e índices morfológicos que podem auxiliar na seleção de mudas, para garantir o seu melhor desempenho no campo após o plantio.

A utilização de inibidores da biossíntese de giberelinas, tais como o paclobutrazol (PBZ) pode elevar a qualidade de mudas devido aos seus efeitos que modificam a taxa de crescimento e produção de biomassa.

Entre as possíveis aplicações práticas do paclobutrazol em viveiros florestais se mencionam a reduzida perda de mudas nas entressafras devido à redução da taxa de crescimento em altura com consequentes aumentos esperados na robustez das mesmas, portanto, evitando o estiolamento. Por outro lado, o controle do tamanho das plantas utilizando esse regulador de crescimento em viveiro pode favorecer algumas operações de manejo, permitindo maior exploração da área disponível.

Apesar das potencialidades conhecidas do paclobutrazol na indução de brotações em forma de roseta, quando utilizado em ambiente de micropropagação, os seus efeitos ainda não são conhecidos em propagação vegetativa por miniestaquia. Ao se efetivar a possibilidade de utilização desse regulador de crescimento em ambiente de minijardim clonal, são esperados aumentos de produtividade de miniestacas e reduzidos efeitos de sazonalidade de produção.

Entretanto, quanto à utilização do paclobutrazol, necessitam ainda de serem esclarecidos vários aspectos relacionados à sua eficiência, época e formas de aplicação, bem como seus efeitos residuais e eficiência econômica para os produtores quando aplicado para *Toona ciliata* M. Roemer var *australis* e suas cultivares.

## REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHI, M. et al. Effects of paclobutrazol, boric acid and zinc sulfate on vegetative and reproductive growth of strawberry cv. selva. **Journal of Agriculture, Science and Technology**, Tehran, v. 14, p. 357-363, 2012.
- ABOD, S. A.; YASIN, S. Effects of Paclobutrazol and Daminozide on the Growth of *Acacia mangium* Seedlings. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, Serdang, v. 25, n. 2, p. 143-147, 2002.
- ADRIANSEN, E.; ODGAARD, P. Residues of paclobutrazol and uniconazole in nutrient solution from ebb and flood irrigation of plot plants. **Scientia horticulturae**, Amsterdam, v. 69, p. 73-83, 1997.
- ALBANY, N. R. et al. Comparative study of morphological parameters of Grand Nain banana (*Musa AAA*) after *in vitro* multiplication with growth retardants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 83, p. 357–361, 2005.
- ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 442 p.
- ARTECA, R. N. **Plant growth substances: principles and applications**. New York: Chapman & Hall, 1996. 352 p.
- BANINASAB, B.; GHOBADI, C. Influence of paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in cucumber seedlings. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 30, p. 213–219, 2011.
- BENATTI, B. P. et al. Development of clonal matrices of australian red cedar in different substrates under fertilizer doses. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 3, p. 285-293, maio/jun. 2012.
- BENINCASA, M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464, out./dez. 2010.

- BRONDANI, G. E. et al. Avaliação morfológica e produção de minijardim clonal de *Eucalyptus benthamii* em relação a Zn e B, **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 35-48, abr./jun. 2012.
- BYGRAVE, F.; BYGRAVE, P. Host preference of the Meliaceae shootborer *Hypsipyla*: further information from grafting *Cedrela odorata* and *Cedrela fissilis* on *Toona ciliata* (Australian red cedar). **Australian Forestry**, Camberra, v. 64, n. 4, Dec. 2001.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.
- CHANEY, W. R. Tree growth retardants: arborists discovering new uses for an old tool. **Tree Care Industry**, Londonderry, v. 14, n. 3, p. 54-59, mar. 2003.
- COSTA, M. A.; TORNISIELO, V. L.; REGITANO, J. B. Mobilidade do paclobutrazol em um solo franco-arenoso cultivado com manga no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2177-2182, 2008.
- DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forests**, Dordrecht, v. 30, n. 2/3, p. 295–311, 2005.
- DAVIS, T. D. Regulation of tree growth and development with triazole compounds. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 17, n. 6, p. 167- 170, 1991.
- DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.
- DURYEA, M. L. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. In \_\_\_\_\_. **Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests**. Corvallis: Oregon State University, 1985. p. 1-4.
- FERRACINI, V. L. et al. **Determinação de paclobutrazol em solo por cromatografia líquida de alta eficiência**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 4 p. Comunicado Técnico, 49.
- FERRACINI, V. L. et al. **Determinação de resíduos de Paclobutrazol em manga (*Mangifera indica* L.) por cromatografia acoplada a espectrometria**

**de massas (LCMS/ MS)**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 16 p.  
Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 58.

FERREIRA, D. A. et al. Influência da posição das miniestacas na qualidade de mudas de cedro australiano e no seu desempenho inicial no pós-plantio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 715-723, out./dez. 2012.

FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

GAUSMAN, H. W. (Ed.). **Plant biochemical regulators**. New York: M. Dekker, 1991. 363 p.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa, MG: UFV, 2011. 116 p.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 309-350.

GRAU, A.; ZAPATER, M. A.; NEUMANN, R. A. Botánica Y distribución del género *Cedrela* em el noroeste de Argentina. In: PACHECO, S.; BROWN, A. (Ed.). **Ecología y producción de Cedro (género Cedrela) en las Yungas australes**. Tucumán: Del Subtrópico, 2006. p. 19-30.

GRIFFITHS, M. W. The biology and ecology of *Hypsipyla* shoot borers. In: FLOYD, R. B.; HAUXWELL, C. (Ed.). **Hypsipyla shoot borers in Meliaceae**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2001. p. 74-80.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, Dordrecht, v. 43, n. 5/6, p. 711-738, 2012.

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree planter's Notes**, Washington, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.

HASAN, O.; REID, J. B. Reduction of generation time in *Eucalyptus globulus*. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 17, n.1, p. 53-60, 1995.

HEINRICH, I. et al. Hydroclimatic variation in Far North Queensland since 1860 inferred from tree rings. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 270, n. 1/2, p. 116–127, Dec. 2008.

JACOBS, D. F.; WILSON, B. C.; DAVIS, A. S. **Recent trends in hardwood seedling quality assessment**. 2004. Disponível em: <<http://www.citeulike.org/user/sylvirgro/article/7477709>>. Acesso em: 22 maio 2013.

JOHNSON, J. D.; CLINE, M. L. Seedling quality of Southern Pines. In: DURYEA, M. L.; DOUGHERTY, P. M. (Ed.). **Forest regeneration manual**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1991. p. 143-159.

KALIL FILHO, A. N.; WENDLING, I. **Produção de mudas de cedro australiano**. Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 5 p. Comunicado Técnico, 309.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. p. 343.

LORENZI, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. p. 385.

MAFIA, R. G. et al. Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 843-851, 2005.

MILFONT, M. L. et al. Reactivity of the plant growth regulator paclobutrazol (Cultar) with Two Tropical Soils of the Northeast Semiarid Region of Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 1, p. 90-97, Jan./Feb. 2008.

MØLMANN, J. A. et al. Low night temperature and inhibition of gibberellin biosynthesis override phytochrome action and induce bud set and cold acclimation, but not dormancy in *PHYA* overexpressors and wild-type of hybrid aspen. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 28, n. 12, p. 1579–1588, 2005.

MONCUR, M. W.; HASAN., O. Floral induction in *Eucalyptus nitens*. **Tree Physiology**, Oxford, v. 14, p. 1303-1312, 1994.

MÜLLER, J. S. et al. Sistemas agroflorestais com café (*Coffea arabica* L.) e cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell.) Bahadur) na zona da mata de Minas Gerais: estudo de caso. **Agrossilvicultura**, Viçosa, MG, v. 1, n. 1, p. 51-60, jul./dez. 2004.

NISGOSKI, S. et al. Anatomia da madeira de *Toona ciliata* características das fibras para produção de papel. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 717- 728, out./dez. 2011.

ORWA, C. et al. **Agroforestree database**: a tree reference and selection guide version 4.0. Disponível em: <[http://www.worldagroforestry.org/treedb2/AFTPDFS/Toona\\_ciliata.pdf](http://www.worldagroforestry.org/treedb2/AFTPDFS/Toona_ciliata.pdf)>. Acesso em : 14 maio 2012.

PARDOS, J. A. et al. Growth of container-grown Cork Oak seedlings as affected by foliar and soil application of paclobutrazol. **HortScience**, Alexandria, v. 40, n. 6, p. 1773-1776, 2005.

PUTTONEN, P. Assessment of seedling vigor attributes: outline for integration. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NURSERY MANAGEMENT PRACTICES FOR THE SOUTHERN PINES, 1., Alabama. **Proceedings...** Alabama: [s. n.], 1985. p. 565-576.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 51, p. 501-531, 2000.

RIETVELD, W. Effect of paclobutrazol on conifer seedling morphology and field performance. In: LANDIS, T.D. (Ed.). **Proceedings combined meeting of the Western Forest Nursery Associations**. Fort Collins: USDA, 1988. p. 19-23.

RITCHIE, G. A. Assessing seedling quality. In: DURYEA M. L.; LANDIS T. D. (Ed.). **Forest nursery manual**: production of bareroot seedlings. Corvallis: Oregon State University, 1984. p. 243-259.

ROSS, S. D.; PHARIS, R. P.; BINDER, W. D. Growth regulators and conifers: their physiology and potential uses in forestry. In: NICKELL, L. G. (Ed.). **Plant growth regulating chemicals**. Florida: CRC, 1983. p. 35-78.

SANTOS, A. M. **Melhoramento genético do cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*)**. 2011. 64 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SCOCCHI, A. et al. Conservación de semillas de cedro australiano (*Toona ciliata*). **Plant Genetic Resources Newsletter**, Rome, n. 137, p. 22-25, 2004.

SILVA, K. S.; FARIA JÚNIOR, M. J. A. Uso de Paclobutrazol como estratégia para redução do porte e da brotação lateral de plantas de tomateiro. **Ciência e Agrotecnia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 539-546, maio/jun. 2011.

SILVA, P. H. M.; MORAES, C. B.; MORI, E. S. **Polinização controlada em eucaliptos nas empresas florestais brasileiras**. Piracicaba: IPEF, 2012. p. 1-12. Circular Técnica, 204.

SOUTH, D. B.; RAKESTRAW, J. L. Large-Diameter seedlings: a method of reducing chemical use in some pine plantations. **Journal of Sustainable Forestry**, New Haven, v. 18, n. 4, p. 47-58, 2004.

SOUZA, J. C. A. V.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. **Cedro Australiano (*Toona ciliata*)**. Niterói: Rio Rural, 2010. 12 p. (Manual Técnico, 21).

SOUZA, J. C. A. V. et al. Propagação vegetativa de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 205-213, 2009.

SOUSA SILVA, C. M. M.; FAY, E. F. **Impacto ambiental do regulador de crescimento Paclobutrazol**. 2003. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/14522/1/documentos30.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2013.

SPONSEL, V. Structures of some important gibberellins and their precursors, derivatives, and inhibitors of gibberellin biosynthesis. 15th ed. **Plant Physiology**, Los Angeles, 2009. Disponível em: <<http://5e.plantphys.net/article.php?ch=t&id=384>>. Acesso em: 10 out. 2012.

THOMPSON, B. E. Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking. In: DURYEA, M. L. (Ed.). **Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests**. Corvallis: Oregon State University, 1985. p. 59-71.

VIEIRA, E. L. et al. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luís: EDUFMA, 2010. 186 p.

VILLAR-SALVADOR, P.; PUERTOLAS, J.; PENUELAS, J. Assessing morphological and physiological plant quality for Mediterranean woodland restoration projects. In: BAUTISTA, S.; ARONSON, J.; VALLEJO, V. R. (Ed.). **Land restoration to combat desertification: innovative approach, quality control and project evaluation**. Valencia: CEAM, 2009. p. 103-120.

WATSON, G. W. Tree root system enhancement with paclobutrazol. **Journal of arboriculture**, Savoy, v. 22, p. 211-217, 1996.

WILLIAMS, D. R.; POTTS, B. M.; SMETHURST, P. J. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced by nitrogen fertilizer. **Canadian Journal of Forestry Research**, Ottawa, v. 33, p. 74-81, 2003.

XAVIER, A. et al. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 139-143, 2003.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: UFV, 2009. 272 p.

**CAPÍTULO II – CRESCIMENTO E MORFOLOGIA DE MUDAS  
CLONAS DE CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roemer  
var. *australis*) TRATADAS COM PACLOBUTRAZOL**

## RESUMO

O sucesso da silvicultura clonal passa pela utilização de mudas de qualidade genética e morfológica. Entretanto, o potencial existente da utilização de reguladores vegetais, tais como o paclobutrazol, que é inibidor da biossíntese de giberelinas, para elevar a qualidade de mudas, ainda não foi muito explorado. Avaliar a taxa de crescimento em altura, diâmetro do colo, massas secas, bem como os índices de qualidade morfológica de mudas clonais de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*, tratadas ou não com paclobutrazol (PBZ). O experimento foi conduzido em delineamento de blocos completos casualizados em esquema fatorial, sendo combinados dois fatores, o primeiro constituído de três genótipos (clones BV1110, BV1120 e BV1321) e o segundo constituído de quatro doses de PBZ (0, 15, 30 e 60 mg.l<sup>-1</sup>) aplicadas via substrato. Aos 0, 20, 40, 80, 100 e 130 dias após a aplicação do PBZ foram avaliadas a altura total da planta (H) e o diâmetro do colo (DC) das mudas. Na última data, avaliaram-se, também, as características de massa seca da raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA), bem como o índice de robustez (IR), a razão MSR/MSPA (RRA) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Os resultados indicaram que as mudas de todos os clones tratadas com PBZ, independente da dose, apresentaram regulação no incremento em H, sem, contudo, afetar expressivamente o incremento em DC. A maior regulação ocorreu no clone BV1110, tratado com PBZ na concentração de 15 mg.l<sup>-1</sup>. Essa regulação, em comparação com as mudas não tratadas (0 mg.l<sup>-1</sup>), reduziu o incremento em H em 314%. As aplicações de doses de PBZ apontam para uma melhoria do IR em todos os clones, teve efeitos significativos para o RRA e IQD do clone BV1321. Desse modo foi possível concluir que a aplicação do PBZ teve efeito diferenciado nas características de crescimento e morfologia das mudas estudadas, em que cada clone se comportou de forma distinta para cada característica avaliada. O PBZ pode ser usado como uma ferramenta para controlar a qualidade morfológica de mudas de *Toona ciliata* em viveiro.

Palavras-chave: Cedro australiano. Índice de qualidade de Dickson. Índice de robustez. Produção de mudas. Regulador de crescimento vegetal.

## ABSTRACT

The clonal silviculture success depends on the utilization of quality seedlings genetic and morphological. However, the existing potential of the use of plant growth regulators, such as paclobutrazol, which is inhibitor of gibberellin biosynthesis, to raise the quality seedlings has not yet been much explored as it should. The present study was conducted to evaluate height growth rate, stem diameter, dried mass, as well as the rates of morphological quality of clonal seedlings of *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*, treated or not with paclobutrazol (PBZ). The experiment was conducted in a randomized factorial block design, where two factors were combined. The first was constituted of three genotypes (clones BV1110, BV1120 and BV1321) and the second constituted of four doses of PBZ (0, 15, 30 and 60 mg.l<sup>-1</sup>) applied via substrate. At 0, 20, 40, 80, 100 and 130 days after PBZ application were evaluated the total plant height (H) and stem diameter (SD) of the seedlings. On the latter date, it was also evaluated the characteristics of root dried mass (RDM) and shoot dried mass (SDM) , as well as the sturdiness index (SI) , the RDM/SDM (RAR) and Dickson quality index (DQI). The results indicated that the seedlings of all clones treated with PBZ, independent of the dose, presented an increased regulation of H, without; however; significantly affect the increase in SD. The largest regulation occurred at clone BV1110, treated with PBZ at a concentration of 15 mg.l<sup>-1</sup>. This regulation, in comparison with the untreated seedlings (0 mg.l<sup>-1</sup>) reduced the increase in H in 314%. The applications of PBZ doses indicated an improvement of SI in all clones, it also had significant effects for the RAR and DQI of the clone BV1321. Thus, it was concluded that the application of PBZ had a differential effect on growth characteristics and morphology of seedlings studied, in which each clone behaved differently for each trait. The PBZ can be used as a tool to control the morphological quality of *Toona ciliata* seedlings in nurseries.

Keywords: Australian cedar. Dickson quality index. Sturdiness index. Seedling production. Plant growth regulators.

## 1 INTRODUÇÃO

O cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem.), espécie arbórea da família *Meliaceae*, possui ampla distribuição natural em países asiáticos, entretanto, a variedade *australis* é encontrada na região tropical da Austrália, em Queensland e Nova Gales do Sul (LAMPRECHT, 1990).

É uma espécie que apresenta alto potencial produtivo e boa adaptabilidade edafoclimática no Brasil, especialmente nas regiões sudeste de Minas Gerais e sul da Bahia (ALMEIDA et al., 2012; MORETTI et al., 2012). A espécie é cultivada em plantios comerciais bastante desenvolvidos nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (ZIECH, 2008). Possui resistência ao ataque da broca da gema apical (*Hypsipyla grandella*), que é uma praga que tem inviabilizado o cultivo de outras espécies de *Meliaceae* de grande importância econômica, como é o caso do mogno (*Swietenia macrophylla* King) e cedro brasileiro (*Cedrela fissilis* Vell) (CUNNINGHAM et al., 2005; SOUZA et al., 2009).

Embora essa espécie seja resistente ao ataque da lagarta *Hypsipyla grandella*, a preocupação com a qualidade de mudas plantadas nessas áreas de escape é fundamental. Essa qualidade é dependente de vários fatores, como a utilização de material genético adaptado ao local de plantio e manejo das mudas em viveiro (DAVIDE; FARIA, 2008; DAVIS; JACOBS, 2005).

Para se alcançar níveis apropriados de qualidade morfológica das mudas no viveiro e para que elas respondam com um bom desempenho no campo, torna-se necessária a adoção de adequadas práticas de irrigação, fertilização, podas e aclimação, visto que essas podem interferir na qualidade final da muda produzida. A aplicação de reguladores de crescimento de plantas em viveiro pode-se constituir em uma prática cultural adicional, tendo em vista que os seus efeitos em algumas características morfológicas podem torná-las mais adequadas

para o plantio em campo (SCHNURR et al., 1996). Porém, os estudos sobre a utilização desses reguladores na produção de mudas de espécies lenhosas é, ainda, escasso, apesar de vários trabalhos destacarem a sua influência no crescimento de plantas frutíferas e hortícolas (RIETVELD, 1988).

Dentre esses reguladores, destaca-se o paclobutrazol (PBZ) ([2RS, 3RS]-1-[4-clorofenil]-4,4- dimetil-2-[1,2,4-triazol-1-il]-pentano-3-ol), que é um retardante de crescimento de plantas, do grupo dos triazóis, que atua na inibição da biossíntese de giberelinas (RADEMACHER, 2000), influenciando na compactação das plantas e melhorando seus aspectos funcionais como a habilidade de resistir aos estresses bióticos e abióticos (NAVARRO; SÁNCHEZ-BLANCO; BAÑON, 2007).

Estudos em espécies arbóreas, conduzidos por Abod e Yasin (2002), mostraram que a aplicação foliar de PBZ na concentração de 5 mg.l<sup>-1</sup> foi suficiente para reduzir significativamente o crescimento de plantas de *Acacia mangium* após 12 semanas de tratamento. Semelhantemente, Pardos et al. (2005) testando doses de PBZ entre 25 e 625 ppm. em mudas de *Quercus suber* L., observaram uma redução na altura das plantas entre 13% e 90%. Melhorias na qualidade do sistema radicular de mudas de *Quercus palustris* e *Q. alba* foram, também, constatadas por Watson (1996).

Esses fatos remetem à condução do presente estudo com o objetivo de avaliar a taxa de crescimento em altura, diâmetro do colo, massas secas, bem como os índices de qualidade morfológica de mudas clonais de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*, tratadas ou não com paclobutrazol.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de julho a dezembro de 2012, no viveiro da empresa Bela Vista Florestal, localizado no Município de Campo Belo, Minas Gerais, latitude 20°53'30"S, longitude 45°16'15" W e altitude média de 945 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como Cwa: subtropical, chuvoso e mesotérmico. A região apresenta uma temperatura média anual de 23,5°C, sendo a máxima de 30°C e a mínima de 10°C, cuja precipitação média anual é de 1250 mm.

O experimento foi conduzido a pleno sol, onde foram utilizadas mudas produzidas por miniestaquia de três clones de *Toona ciliata* Roemer var. *australis*, com idade de cinco meses, produzidas em tubetes de polietileno de 55 cm<sup>3</sup>. Os lotes de mudas experimentais de cada clone foram constituídos após seleção e padronização por tamanho, com os valores médios inicial de altura de 9,3 cm e diâmetro do colo de 3,7 cm. Essas mudas foram posteriormente arranjadas em bandejas de polietileno com 224 células. O arranjo foi de forma alternada em quinquêncio com densidade inicial de 144 mudas.m<sup>-2</sup>. Os tubetes haviam sido preenchidos com substrato composto por vermiculita e casca de arroz carbonizada (3:1, v:v).

Os tratos culturais realizados durante a condução do experimento foram a eliminação manual de ervas daninhas, fertirrigação por microaspersão por bicos com vazão de 300 l.hora<sup>-1</sup> e espaçados de 4 x 4 m. Utilizou-se sete turnos de regas diárias de 6 minutos cada.

A fertirrigação foi ajustada para uma solução nutritiva contendo (mg.dm<sup>-3</sup>): 80 de N, 200 de P, 150 de K, 50 de S, 75 de Ca, 15 de Mg, 0,5 de B, 1,5 de Cu e 5,0 de Zn. As fontes dos nutrientes foram os seguintes sais: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>).2H<sub>2</sub>O, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>,

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, (NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, CuCl<sub>2</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, conforme adaptado por Moretti et al. (2011).

A fonte de paclobutrazol (PBZ) utilizada no experimento tem a denominação comercial Cultar® (25% p/v EC), cuja fórmula química é ([2RS, 3RS]-1-[4-clorofenil]-4,4- dimetil-2-[1,2,4-triazol-1-il]-pentano-3-ol) (COSTA; TORNISIELO; REGITANO, 2008). O PBZ foi diluído em água para preparação das diferentes dosagens testadas no experimento.

Os clones utilizados no experimento foram BV1110, BV1120 e BV1321, com registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sob os números 31617, 31618 e 31613, respectivamente. Essas cultivares tem como mantenedor a empresa Bela Vista Gestão Florestal Ltda.-ME.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos completos ao acaso, em esquema fatorial, onde foram combinados dois fatores, sendo o primeiro constituído de três genótipos: clones BV1110, BV1120 e BV1321 e o segundo constituído de quatro doses de PBZ: 0, 15, 30 e 60 mg.l<sup>-1</sup> aplicados via imersão do substrato em solução de PBZ em uma única aplicação, no início do teste.

Utilizaram-se seis blocos, com nove plantas por parcela, totalizando 648 plantas no experimento. As doses de PBZ encontram-se dentro dos intervalos também testados por Míguez, González e Carrión (2004) em mudas de *Quercus suber*. Foi analisado o efeito das diferentes doses de PBZ e clones do cedro australiano bem como suas interações sobre as características estudadas.

Aos, zero dia (data do início do experimento), 20, 40, 80, 100 e 130 dias após a aplicação do PBZ foram avaliadas as seguintes características de crescimento: altura total da planta (H) em centímetros, diâmetro do colo da planta (DC) em milímetros e aos 130 dias obteve-se os dados de massa seca da parte aérea (MSPA, g) e da raiz (MSR, g), cuja soma de MSPA e MSR resultou

na massa seca total (MST). A partir dessas características de crescimento estimaram-se os seguintes índices de qualidade morfológica: índice de robustez ( $IR = H \cdot DC^{-1}$ ), razão de massa ( $RRA = MSR \cdot MSPA^{-1}$ ) e o índice de qualidade de Dickson – IQD, com a seguinte fórmula (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960):

$$IQD = \frac{MST_{\bar{x}}}{\frac{H_{\bar{x}}}{DC_{\bar{x}}} + \frac{MSPA_{\bar{x}}}{MSR_{\bar{x}}}} \quad (1)$$

Os dados de H, DC e IR foram obtidos em todas as nove plantas da parcela e os dados de MSR, MSPA, RRA e IQD foram obtidos em quatro plantas aleatórias por parcela. A altura da planta foi mensurada com auxílio de régua graduada em milímetros, iniciando no nível do substrato até o ápice da planta. O diâmetro do colo foi mensurado em milímetros, usando um paquímetro digital com precisão 0,01 mm.

Para a determinação da massa seca da parte aérea e da parte radicular, foi seguida a metodologia proposta por Carneiro (1995), que consiste no corte de separação da parte aérea e radicular na base do caule das plantas, usando tesoura de poda, posterior lavagem do substrato aderido às raízes utilizando água corrente sobre a peneira de malha fina. Posteriormente, as plantas foram colocadas sobre papel absorvente em bancada de laboratório por um período de 24 horas para retirada da água superficial.

Em seguida, as partes foram colocadas separadamente em saco de papel devidamente identificados e levados à estufa com circulação forçada de ar a 80°C até que atingissem peso constante. Esse material foi pesado em balança analítica com precisão de 0,01 g, e o resultado expresso em gramas por planta para a determinação do MSPA e MSR.

Os dados de crescimento em H e DC, obtidos na mencionada escala temporal, foram submetidos à análise de regressão, onde, para cada clone estudado, as respostas de crescimento e o tempo decorrido após a aplicação de PBZ foram as variáveis dependente e independente, respectivamente. As análises das respostas foram conduzidas após as seleções dos modelos estatísticos apropriados. Essa seleção foi realizada conforme a magnitude dos coeficientes de determinação ajustado, do erro padrão residual e da significância dos coeficientes de regressão, avaliada pelo teste de t-student ( $p \leq 0,05$ ). Os modelos testados foram lineares simples, quadráticos e cúbicos.

Os dados MSPA, MSR, IR, RRA e IQD (obtidos aos 130 dias) foram submetidos à análise de variância (ANAVA), utilizando-se o modelo estatístico:  $Y_{ijk} = \mu + D_i + C_j + DC_{ij} + B_k + E_{ijk}$ . Onde:  $Y_{ijk}$  é o valor observado na  $i^{\text{ésima}}$  dose de PBZ, aplicada no  $j^{\text{ésimo}}$  clone do  $k^{\text{ésimo}}$  bloco;  $\mu$  é a média geral observada;  $D_i$  é o efeito da  $i^{\text{ésima}}$  dose de PBZ (efeito fixo);  $C_j$  é o efeito do  $j^{\text{ésimo}}$  clone (efeito fixo);  $DC_{ij}$  é o efeito da interação entre a  $i^{\text{ésima}}$  dose e o  $j^{\text{ésimo}}$  clone (efeito aleatório);  $B_k$  é o efeito do  $k^{\text{ésimo}}$  bloco (efeito aleatório) e o  $E_{ijk}$  é o erro aleatório e independente associado às observações  $Y_{ijk}$ .

As médias das características com significativos efeitos principais (dose de PBZ e clone) ou interativos entre esses fatores foram comparadas entre si, segundo a metodologia de Scott & Knott (1974). Para todas essas análises utilizou-se o programa estatístico R<sup>®</sup> (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013). Para todas as características estudadas também procedeu-se a análise da associação linear entre as mesmas através da correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados são apresentados separadamente nos itens 3.1, 3.2 e 3.3. No primeiro, foram apresentadas as avaliações das características da altura total (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA). No segundo item, complementarmente, são apresentados os índices de qualidade morfológica de mudas, constituídos pelo índice de robustez (IR), razão entre MSR e MSPA (RRA) e índice de qualidade de Dickson (IQD). No terceiro item é apresentada a correlação entre as características estudadas.

#### **3.1 Altura total, diâmetro do colo e produção de massa seca de raiz e da parte aérea**

Os padrões de crescimento em altura e diâmetro do colo, avaliados em uma escala de evolução temporal de zero a 130 dias são ilustrados na figura 1. É possível observar nessa figura, principalmente para os clones BV 1110 e BV 1120 e para o crescimento em altura, a existência de interações ao longo do tempo. As inversões de classificação dessas respostas temporais em mudas tratadas comparadas com as não tratadas com paclobutrazol (PBZ), bem como as diferenças existentes entre os respectivos coeficientes de regressão (Tabela 1) mostram o grau de complexidade dessas interações, indicando que os efeitos do PBZ na inibição da biossíntese de giberelinas, tal como referido por Chaney (2003) e Davis (1991), podem ocorrer em momentos diferentes, dependendo da dose aplicada. A inversão de classificação foi mais precoce nas maiores doses e mais tardio nas menores doses. Assim, a inibição do crescimento em altura das mudas no viveiro pode ser induzida pelo PBZ para adequar os padrões de desenvolvimento das mudas às possíveis mudanças no planejamento do plantio das mesmas no campo.

A figura 1 demonstra que a regulação das respostas temporais de crescimento ocorreu principalmente para H. Utilizando como exemplo o clone BV 1110, o crescimento do ocorrido entre os dias 0 e 130, nas mudas não tratadas com PBZ foi de 5,8 cm, enquanto que as tratadas com 15 mg.l<sup>-1</sup> apresentaram um crescimento de apenas 1,4 cm, ou seja; nesse clone e dose houve uma inibição da taxa de crescimento da ordem de 314%. Isso ocorreu sem modificar o crescimento em DC de forma significativa. Nota-se, também, que tal fenômeno se apresentou para todos os clones e doses estudadas, indicando que as mudas tratadas com PBZ se tornam menos estioladas e que a regulação de crescimento pelo PBZ em *Toona ciliata* é quase que exclusivo para a inibição do alongamento apical das mudas. Desse fato podem-se esperar benefícios para melhoria da qualidade das mudas para plantios no campo.

Tanto para as respostas em H quanto para DC, os modelos selecionados foram, predominantemente, lineares simples, apresentando ajustes dos coeficientes de regressão altamente significativos e valores de coeficiente de determinação ajustados ( $R^2_a$ ) elevados e superiores a 0,70 (Tabela 1).

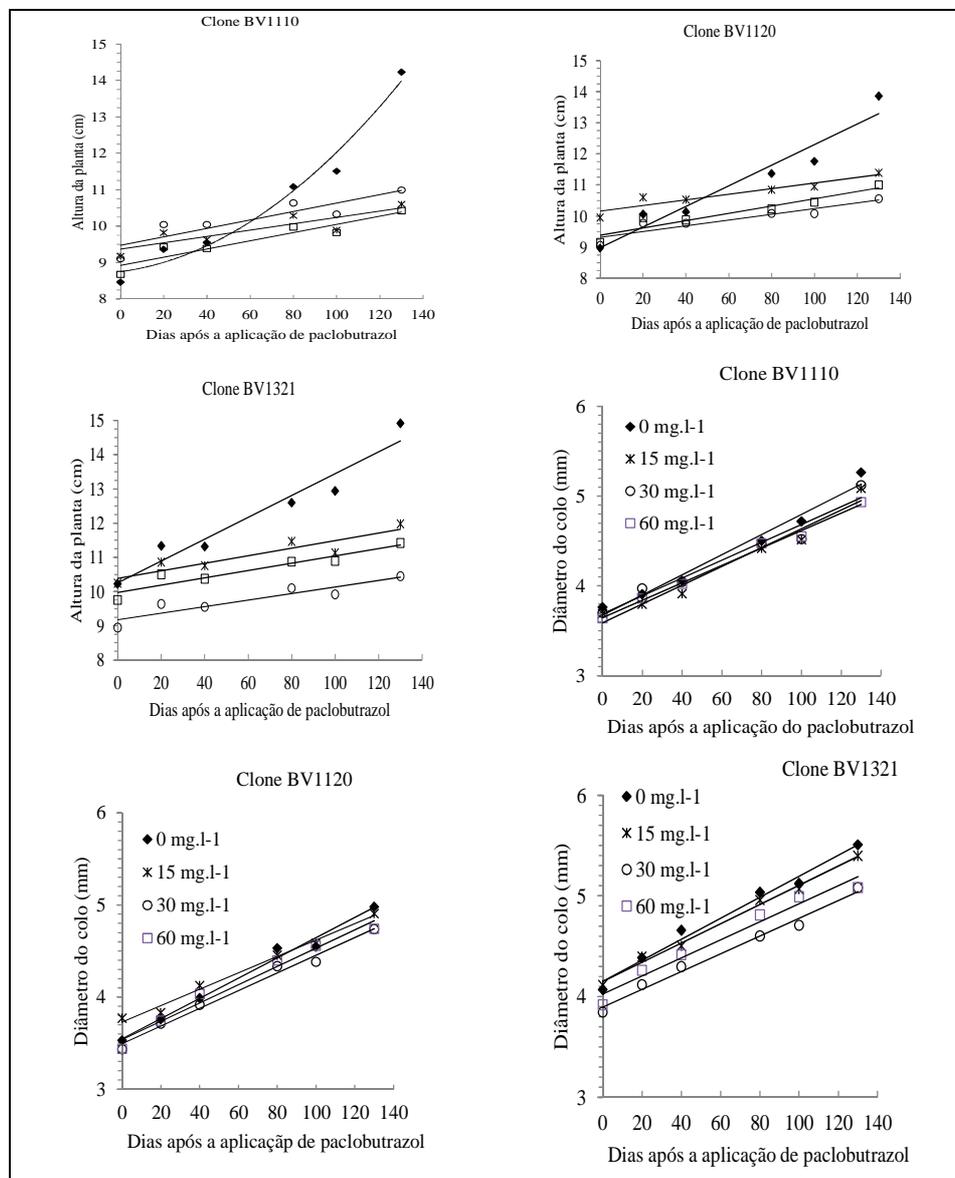


Figura 1 Evolução temporal da altura e diâmetro do colo em mudas clonais de *Toona ciliata* (BV1110, BV1120 e BV1321) tratadas com paclobutrazol

Tabela 1 Equações de regressão selecionadas em função do tempo (dias) após a aplicação de paclobutrazol e respectivos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e erro padrão residual ( $S_{yx}$ ) para a altura total e diâmetro do colo das mudas clonais de *Toona ciliata* var. *australis*

Clones	Doses de PBZ (mg.l <sup>-1</sup> )	Equações de regressão	$R^2_a$	$S_{yx}$
<b>Altura total da planta</b>				
BV1110	0	$\hat{y} = 8,7644127 + 0,0002524X^2$	0,9573	0,4266
	15	$\hat{y} = 9,361082 + 0,008775X$	0,6961	0,2778
	30	$\hat{y} = 9,47220 + 0,01160X$	0,7557	0,3195
	60	$\hat{y} = 8,920042 + 0,011279X$	0,8776	0,2353
BV1120	0	$\hat{y} = 8,983494 + 0,033047X$	0,9262	0,4624
	15	$\hat{y} = 10,160178 + 0,00905X$	0,8622	0,1773
	30	$\hat{y} = 9,301814 + 0,009362X$	0,8184	0,2157
	60	$\hat{y} = 9,382437 + 0,011749X$	0,8747	0,2191
BV1321	0	$\hat{y} = 10,257016 + 0,031855X$	0,9249	0,45
	15	$\hat{y} = 10,376622 + 0,010996X$	0,8219	0,2504
	30	$\hat{y} = 9,176965 + 0,009509X$	0,819	0,2186
	60	$\hat{y} = 9,966479 + 0,010751X$	0,8564	0,2164
<b>Diâmetro do colo</b>				
BV1110	0	$\hat{y} = 3,6689273 + 0,0112922X$	0,9709	0,09745
	15	$\hat{y} = 3,5770385 + 0,0106066X$	0,9581	0,1104
	30	$\hat{y} = 3,683542 + 0,010001X$	0,947	0,1175
	60	$\hat{y} = 3,6445080 + 0,0097332X$	0,9918	0,04429
BV1120	0	$\hat{y} = 3,5398688 + 0,0110472X$	0,9826	0,0734
	15	$\hat{y} = 3,7279820 + 0,0089201X$	0,9868	0,05144
	30	$\hat{y} = 3,5030798 + 0,0094951X$	0,9842	0,06008
	60	$\hat{y} = 3,5441524 + 0,0098696X$	0,9703	0,08597
BV1321	0	$\hat{y} = 4,1510882 + 0,0104508X$	0,979	0,07636
	15	$\hat{y} = 4,1496195 + 0,0094927X$	0,9924	0,04154
	30	$\hat{y} = 3,8988961 + 0,0088062X$	0,9835	0,0569
	60	$\hat{y} = 4,0177837 + 0,0090449X$	0,9519	0,1011

Resultados semelhantes de crescimento em altura em mudas tratadas com PBZ, em uma escala de evolução temporal, foram também verificados na espécie *Quercus suber* L. (PARDOS et al., 2005). Nesse estudo, o PBZ foi

aplicado via substrato e foliar, resultando em uma redução no incremento em altura entre 13% e 90%. Porém, as respostas da aplicação de PBZ não foram avaliadas com relação às variações intraespecíficas.

Outros resultados de pesquisa apresentando reduções nas taxas de crescimento em altura de plantas, também, são relatados por Abod e Yasin (2002), Avidan e Erez (1995), Berova e Zlatev (2000), Cruz et al. (2011), Desgagnex-Pénix et al. (2005), Míguez, González e Carrión (2004), Valle e Almeida (1991) e Yim, Kwon e Bayer (1997), porém, com taxas de inibição inferiores aos registrados neste estudo.

As maiores diferenças no padrão de crescimento em diâmetro foram verificadas para o clone BV1110. Essas reduções da taxa de crescimento, em termos percentuais, em comparação com o crescimento ocorrido na dose zero (controle - não tratado), correspondem a 6,7%; 6,7% e 13,5% para as doses de 15; 30 e 60 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente. Assim, verifica-se que essas regulações no crescimento em diâmetro provocadas pelo PBZ foram pouco significativas quando comparadas com as magnitudes das regulações verificadas para o crescimento em altura, ou seja, a regulação de crescimento pelo PBZ em *Toona ciliata* é quase que exclusiva para a inibição do alongamento apical das mudas.

Tal fenômeno revela a redução do estiolamento nas mudas de *Toona ciliata*, quando tratadas com PBZ. Esse fenômeno também foi observado por Pierik et al. (2004) em mudas de *Nicotiana tabacum* (tabaco); por Sperry e Chaney (1999) em plantas de *Zinnia elegans* 'Scarlet' Jacq. Portanto, o desestiolamento dessas mudas terá reflexos na melhoria de suas qualidades para plantios no campo e quando as condições ambientais são ou poderão se tornar adversas.

Complementarmente, Landis, Dumroese e Haase (2010) relatam que o diâmetro do colo tende a se correlacionar positivamente com a sobrevivência das

plantas no campo enquanto que a altura tende a se correlacionar com o crescimento inicial após o plantio.

Contudo, grande parte da literatura (CHANEY, 2003; DAVIS, 1991; RADEMACHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2004) tem demonstrado que o principal efeito do PBZ esteja relacionado com a inibição do alongamento do caule, portanto, outros parâmetros de crescimento como a massa seca da raiz e da parte aérea também podem ser afetados pela aplicação de PBZ, principalmente quando aplicado via solo (PARDOS et al., 2005).

A redução do crescimento em plantas tratadas com PBZ nem sempre ocorre, e esse fato deve ser considerado em função de vários aspectos como as doses aplicadas, o fator genético, idade da planta, forma de aplicação, entre outros (DAVIS, 1991). Segundo o mesmo autor, apesar de vários anos de pesquisa sobre os efeitos dos triazóis no crescimento de plantas, incluindo PBZ, persistem ainda dúvidas sobre a dosagem certa a aplicar na planta para produzir o efeito desejado.

Após a avaliação da evolução temporal do crescimento em altura e diâmetro do colo ao longo dos 130 dias do experimento, nessa última data realizaram-se as avaliações da massa seca da raiz e da parte aérea. A partir dos dados obtidos nessa época, foi elaborada a análise de variância (ANAVA) para as características de H, DC, MSR, MSPA, que estão representados na Tabela 2. A ANAVA mostrou baixos erros experimentais (coeficiente de variação entre 4,21 e 14,31%) e alta significância pelo teste F de Fischer ( $p \leq 0.01$ ), para os efeitos de dose (D) de PBZ, clones (C). As interações D x C, apenas se mostraram significativas para a característica MSPA. Na decomposição dessas interações, a significância de doses dentro de clones somente não ocorreu no clone BV1120, indicando a existência de efeitos diferenciados das doses de PBZ nos clones BV1110 e BV1321.

Tabela 2 Resumo da análise de variância para as características de altura total (H), diâmetro do colo (DC), massa seca de raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA) de mudas clonais de *Toona ciliata* var. *australis* aos 130 dias após a aplicação de doses de paclobutrazol

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio			
		H	DC	MSR	MSPA
Bloco	5	0,340 <sup>ns</sup>	0,175 <sup>**</sup>	1,421 <sup>**</sup>	3,571 <sup>**</sup>
Dose (D)	3	52,020 <sup>**</sup>	0,429 <sup>**</sup>	2,532 <sup>**</sup>	14,125 <sup>**</sup>
Clone (C)	2	2,479 <sup>*</sup>	1,101 <sup>**</sup>	3,598 <sup>**</sup>	17,307 <sup>**</sup>
D x C	6	1,323 <sup>ns</sup>	0,041 <sup>ns</sup>	0,706 <sup>ns</sup>	2,294 <sup>**</sup>
DXBV1110	3	-	-	-	2,377 <sup>**</sup>
DXBV1120	3	-	-	-	1,434 <sup>ns</sup>
DXBV1321	3	-	-	-	14,902 <sup>**</sup>
Erro	55	0,748	0,046	0,367	0,530
Média	-	11,81 cm	5,07 mm	4,23 g	5,18 g
CV(%)	-	7,32	4,21	14,31	14,05

Em que: ns, \*, \*\*, não significativo e significativo pelo teste F aos níveis de  $p > 0,05$ ;  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ , respectivamente.

Observa-se nessa tabela que as médias gerais foram, respectivamente, 11,81 cm para H; 5,07 mm para DC; 4,23 g para MSR e 5,18 g para MSPA.

Para as análises dos efeitos de doses de PBZ e clones de cedro australiano, bem como suas interações na produção de massa seca, foram elaborados testes de comparação de médias cujo resumo está representado na Tabela 3.

Tabela 3 Comparação das médias da massa seca da parte aérea e da massa seca da parte radicular nos clones de *Toona ciliata* var. *australis* avaliados aos 130 dias após a aplicação do paclobutrazol

Clone	Doses de paclobutrazol (mg.l <sup>-1</sup> )			
	0	15	30	60
	<b>Massa seca da parte aérea (g)</b>			
BV1120	5,69 a B	4,94 a B	4,56 a A	4,81 a B
BV1321	8,29 a A	6,25 b A	4,94 c A	4,97 c A
BV1110	5,36 a B	4,25 b B	4,21 b A	3,95 b B
<b>Médias</b>	<b>6,45</b>	<b>5,15</b>	<b>4,57</b>	<b>4,58</b>
	<b>Massa seca da parte radicular (g)</b>			
BV1120	4,13 a B	3,95 a B	3,83 a A	3,97 a A
BV1321	5,40 a A	5,08 a A	4,47 b A	3,78 b A
BV1110	4,56 a B	4,03 a B	3,84 a A	3,73 a A
<b>Médias</b>	<b>4,70</b>	<b>4,35</b>	<b>4,05</b>	<b>3,83</b>

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e pelas mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Nessa tabela se observa que os clones BV1110 e BV1321 apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre doses, quanto à produção de massa seca da parte aérea. O mesmo efeito foi observado para o clone BV1321 na avaliação da massa seca da parte radicular. Isso demonstra que a aplicação de doses de PBZ tem respostas que são controladas pelos genótipos das plantas tratadas.

Ainda na mesma tabela, com relação à comparação entre clones, quanto à MSR e MSPA, se evidencia que o clone BV1321 apresentou maior massa seca ou se equiparou aos demais clones.

As considerações sobre o PBZ em relação às condições genéticas da planta não são muito divulgadas na literatura, apesar do presente estudo

apresentar respostas diferenciadas dentro da mesma espécie. Portanto, genótipos diferentes apresentaram respostas diferenciadas para as concentrações de reguladores de crescimento. Nesse contexto, em outros estudos foi verificada a existência de variações intraespecíficas por Zimmerman e Stefens (1995) em duas cultivares de *Malus domestica*; por Zhou et al. (2012) em três cultivares de *Tectona grandis*.

Dependendo da espécie e concentrações, o PBZ pode induzir modificações anatômicas e morfológicas do sistema radicular (TSEGAW; HAMMES; ROBBERTSE, 2005). Abod e Yasin (2002), ao estudarem o efeito de PBZ em mudas de *Acacia mangium* após 12 semanas de exposição ao produto, verificaram que a massa seca das raízes apresentou um reduzido incremento, cuja variação foi de 3,53 g para 3,10 g, e a massa seca total variou de 9,78 g para 8,12 g, quando se compararam plantas não tratadas e tratadas com a dose de 15 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ, respectivamente.

Apesar disso, resultados contrários também são reportados por outros autores. Yim, Kwon e Bayer (1997), estudando o efeito do PBZ em mudas de arroz, obtiveram valores elevados de massa seca radicular em plantas tratadas com PBZ, enquanto que Schnurr et al. (1996) não observaram nenhuma alteração com aplicação foliar do PBZ.

Nesse sentido os resultados do presente estudo sugerem que os efeitos do PBZ sobre a produção de massa seca das raízes podem estar mais associados a fatores genéticos do que ao regulador de crescimento em si.

Assim, no presente estudo, as variações nas respostas de genótipos e de doses de PBZ, bem como as interações entre esses fatores, apontam para importantes modificações nos indicadores de qualidade morfológica das mudas de *Toona ciliata*.

### 3.2 Índices de qualidade morfológica de mudas avaliadas

Foi elaborado o resumo da análise de variância (ANAVA) para determinar os efeitos das doses de paclobutrazol (D), dos clones (C) e suas interações nos índices de qualidade morfológica de mudas clonais de *Toona ciliata*: no índice de robustez (IR), na razão entre massa seca da raiz e massa seca da parte aérea (RRA) e no índice de qualidade de Dickson (IQD). Para cada um desses índices avaliados foram obtidas como médias gerais 2,3 cm.mm<sup>-1</sup> para o IR; 0,84 g.g<sup>-1</sup> para o RRA e 2,65 para o IQD. Os coeficientes de variação observados variaram de 7,42 a 13,64%, representando a confiabilidade dos resultados obtidos no experimento, portanto, conclusões válidas poderão ser obtidas.

Tabela 4 Resumo da análise de variância para os índices morfológicos avaliados em mudas clonais de *Toona ciliata*: índice de robustez (IR), razão entre massa seca da raiz e da parte aérea (RRA) e índice de qualidade de Dickson (IQD), avaliados aos 130 dias após a aplicação do paclobutrazol

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		IR	RRA	IQD
Bloco	5	0,021 <sup>ns</sup>	0,031**	0,724**
Dose (D)	3	1,321**	0,067**	0,385*
Clone (C)	2	0,135*	0,121**	1,977**
DXC	6	0,025 <sup>ns</sup>	0,021*	0,263 <sup>ns</sup>
DXBV1110	3	-	0,014 <sup>ns</sup>	-
DXBV1120	3	-	0,018 <sup>ns</sup>	-
DXBV1321	3	-	0,076*	-
Erro	55	0,030	0,007	0,131
Média	-	2,33	0,84	2,65
C.V.(%)	-	7,42	10,25	13,64

Em que: ns, \*, \*\*, não significativo e significativo pelo teste F aos níveis de  $p > 0,05$ ;  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ , respectivamente.

Nessa tabela, ao analisar os três índices morfológicos, observa-se que existem diferenças significativas entre as doses de paclobutrazol (PBZ), entre os clones estudados, porém, a interação entre esses dois fatores apenas foi significativa para o RRA. Ao decompor a interação observada no RRA, a significância foi observada para o clone BV1321, mostrando que esse clone reage de forma diferenciada às diferentes doses de PBZ. Apesar de não se ter observado interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os fatores doses e clones no IR e IQD, foi também realizada a sua decomposição, incluindo o RRA que apresentou interação. Os resultados são ilustrados na figura 2.

Nessa figura 2, quando se analisa o índice de robustez em cada clone, observa-se que o referido regulador proporcionou melhorias em todos os clones, cuja amplitude de variação foi de 2,1 a 2,8. Foram observados valores menores e estatisticamente significativos para todas as doses, quando comparados com as plantas não tratadas. Caldeira et al. (2012) ao avaliar a influência do biofóssido como substrato na produção de mudas de cedro australiano também obtiveram resultados semelhantes com IR oscilando entre 1,9 a 2,3, porém, sem utilizar o PBZ.

Por exemplo, quando se compara o IR na dose de  $15 \text{ mg.l}^{-1}$  de PBZ em cada clone com as mudas não tratadas, verifica-se um decréscimo de 22,9% para o clone BV1110; 16,8% para o clone BV1120 e 18,1 % para o clone BV1321. Esse decréscimo observado do IR se deve mais à redução do incremento em altura, uma vez que o diâmetro do colo da planta não apresentou alterações significativas, conforme discutido no ponto 3.1.

Nesse índice (IR), observou-se que dos três clones avaliados, o BV1110 e BV1321 apresentaram valores médios estatisticamente semelhantes entre si, sendo inferiores aos do clone BV1120, que apresentou o valor de 2,41.

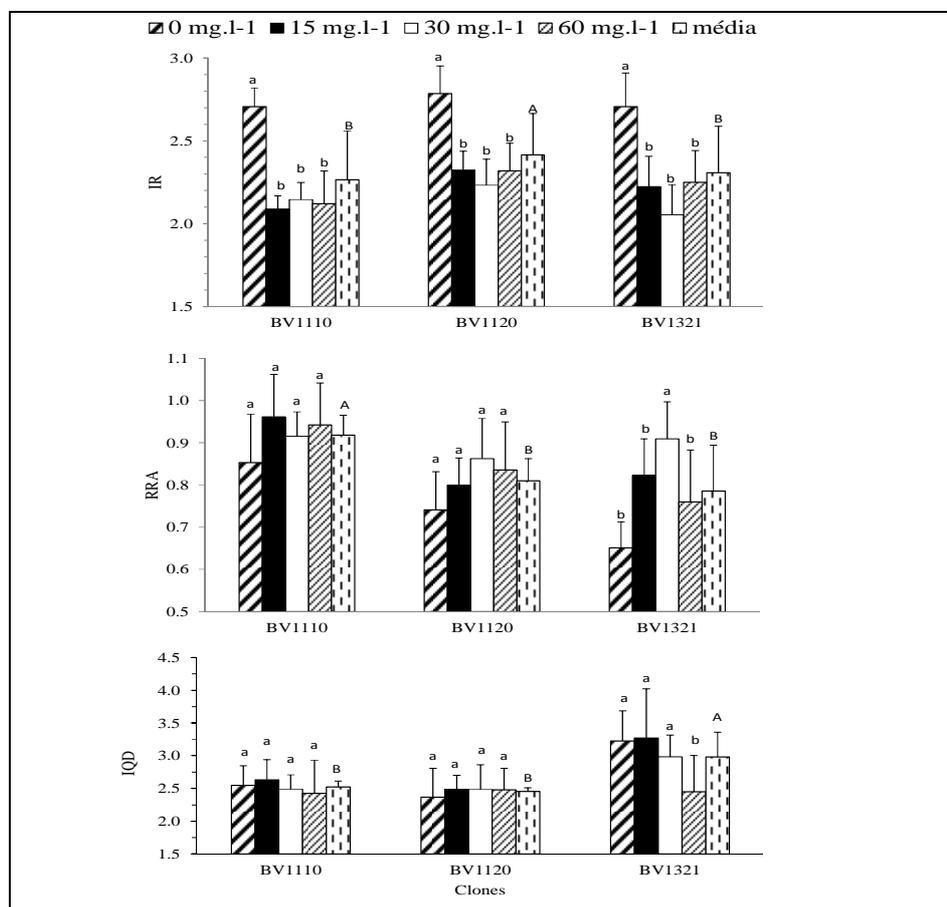


Figura 2 Valores médios dos índices de robustez (IR), razão MSR.MSPA<sup>-1</sup> (RRA) e índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Toona ciliata* de três clones (BV1110, BV1120, BV1321) tratadas com quatro doses de paclobutrazol (0 mg.l<sup>-1</sup>; 15 mg.l<sup>-1</sup>; 30 mg.l<sup>-1</sup>; 60 mg.l<sup>-1</sup>). As médias dentro de clones seguidas pelas mesmas letras minúsculas e médias entre clones seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ )

Diversos autores (HAASE, 2007; HAASE, 2008; JOHNSON; CLINE, 1991; SCHNURR et al., 1996; VILLAR-SALVADOR; PUERTOLAS;

PENUELAS, 2009) se relatam às vantagens de plantar mudas mais robustas, portanto, com valores baixos desse índice, uma vez que resistem melhor aos ventos fortes, e apresentam alta sobrevivência quando plantadas em regiões áridas.

O crescimento excessivo de mudas em viveiro pode produzir mudas estioladas, podendo afetar a sua sobrevivência após o plantio em campo. Assim, a regulação desse crescimento causador de estiolamento pode-se constituir em uma importante estratégia para tornar as mudas fisiologicamente e morfológicamente adaptadas às condições de estresse ambiental. Chaney (2005) afirma que o PBZ pode reduzir o crescimento em altura das plantas tratadas em até 60% se as doses adequadas forem aplicadas.

Resultados semelhantes são também reportados por Schnurr et al. (1996) em seus estudos com mudas de *Pinus banksiana* Lamb, com aplicação foliar de 100 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ, onde se observou a redução do índice de robustez em 16,7%, variando de 50,4 para 42,0 entre plantas não tratadas e tratadas, respectivamente.

As melhorias observadas para esse índice (IR) proporcionadas por esse regulador de crescimento obtidas no presente estudo são vantajosas do ponto de vista operacional no viveiro, por ser um índice de natureza não destrutiva, sendo possível evitar o estiolamento da muda ao longo do processo de produção, e ainda, por ser bom indicador para sobrevivência após plantio no campo (JOHNSON; CLINE, 1991).

Na mesma figura 2, também se compara o índice RRA entre clones e entre doses dentro de cada clone, cujos valores mínimo e máximo variaram de 0,65 e 0,96, respectivamente. Verifica-se que o clone BV1110 apresentou a melhor média desse índice, com o valor de 0,92 g.g<sup>-1</sup> enquanto que os outros dois clones apresentaram valores estatisticamente semelhantes entre si ( $p \leq 0,05$ ).

Ao se analisar o RRA no clone BV1321, constata-se que os maiores valores (considerados melhores) foram observados na dose de 30 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ,

com a média de  $0,91 \text{ g.g}^{-1}$ , e nas demais doses as médias foram estatisticamente semelhantes entre si ( $p \leq 0,05$ ). Porém, quando se compara as médias do RRA obtidas por dose, os resultados indicam maior acúmulo de massa seca na parte aérea em relação à radicular. Esse fato que é comprovado pelos valores médios que variaram de 0,75; 0,86, 0,90 e  $0,85 \text{ g.g}^{-1}$  para as doses de 0, 15, 30 e  $60 \text{ mg.l}^{-1}$ , respectivamente, sendo todos inferiores a um.

Resultados de RRA inferiores a um foram também observados por Lisboa et al. (2012) em mudas de *Toona ciliata*, que variaram de 0,43 e 0,49; por Bayley e Kietzka (1996) em mudas de *Pinus patula*, que variaram entre 0,21 e 0,56, e por Berova e Zlatev (2000) em mudas de *Lycopersicon esculentum*, que variaram entre 0,32 a 0,38.

Entretanto, Moretti et al. (2011), ao analisarem o RRA em mudas de *Toona ciliata*, obtiveram valores que oscilaram entre 0,93 a 2,0 em função da omissão de nutrientes, sendo na sua maioria superiores a um, significando maior massa seca na raiz. Watson (2001) ao testar o PBZ em mudas de *Ulmus americana* L., verificaram que ao aplicar esse regulador de crescimento via solo, efeitos significativos foram observados para o RRA, com valores de 1,2 nas plantas tratadas e 0,73 nas plantas não tratadas.

Para esse comportamento, Ghini (2003) explica que a aplicação do PBZ normalmente produz efeito no aumento da relação raiz/parte aérea da planta, devido à translocação de produtos da fotossíntese da parte aérea para as raízes. Plantas que apresentam valores elevados do RRA apresentam alta sobrevivência em campo (MEXAL; LANDIS, 1990).

Deve-se considerar que os valores de RRA variam em função da espécie avaliada, tipo de substrato e fertilidade do mesmo quando utilizado para produção de mudas (CALDEIRA et al., 2000). Por exemplo, Caldeira et al. (2000) constataram que a deficiência de nutrientes no substrato proporcionaram a elevação dos valores de RRA em mudas de *Acacia mearnsii*. Por outro lado,

Mollier e Pellerin (1999) verificaram que a deficiência de nutrientes (como fósforo) no substrato favoreceu o crescimento da raiz em relação à parte aérea resultando em maiores valores do RRA em plantas de *Zea mays* L.

Com relação ao IQD, os valores obtidos no presente estudo variaram entre 2,5 e 3,2. Quando se comparam os valores desse índice entre clones, observa-se que o clone BV1321 apresentou valores superiores aos demais (2,98), onde esses apresentaram médias estatisticamente iguais entre si ( $p \leq 0,05$ ). Os valores foram de 2,53 (no clone BV1110) e 2,45 (no clone BV1120) respectivamente, estatisticamente iguais entre si.

Ao comparar esse índice (IQD) entre as doses de PBZ dentro de cada clone, foram observadas diferenças estatisticamente significativas apenas dentro do clone BV1321. Nesse clone, o IQD observado para as doses de PBZ avaliadas foram semelhantes entre si, com exceção da dose 60 mg.l<sup>-1</sup> que apresentou seu valor inferior às demais. Assim, a redução do IQD observada no clone BV1321 foi de 9,6% na dose de 60 mg.l<sup>-1</sup> quando comparado com as plantas não tratadas. Essa tendência observada do IQD, em função das doses de PBZ aplicadas, demonstra a existência de variações decorrentes de diferenças intraespecíficas.

Para esse índice, na literatura são encontrados valores diversificados. Por exemplo, Caldeira et al. (2012) ao avaliarem o IQD em mudas de cedro australiano, obtiveram valores que variaram entre 0,5 e 2,1. Em estudos conduzidos por Lisboa et al. (2012) com *Toona ciliata*, foram obtidos valores de IQD variando de 0,98 a 1,29 em função do tamanho do tubete. Por outro lado, Campo, Navarro e Ceacero (2010) registraram valores de IQD oscilando entre 1,1 e 2,8 em mudas de *Quercus ilex*, em todos os casos sem o uso de reguladores de crescimento. Portanto, pode-se inferir que os valores de IQD apresentam variações, quer inter ou intraespecíficas, dependendo das condições em que são produzidas as mudas.

Rodrigues et al. (2013) estudaram os efeitos fisiológicos do PBZ nos mesmos clones de *Toona ciliata* doses de PBZ testadas no presente estudo. Nesse estudo, foram analisados os dados de taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub> e razão entre concentrações interna e externa de CO<sub>2</sub>. Os autores desse estudo concluíram que o PBZ não apresenta efeito sobre a taxa fotossintética e parâmetros relacionados nas concentrações avaliadas, porém, os clones respondem de maneira diferente a esse regulador de crescimento. Considerando esses resultados, se pode inferir sobre os efeitos benéficos do PBZ na alteração dos efeitos morfológicos, sem prejuízos aos aspectos fisiológicos desses clones.

Apesar de não ter sido avaliado no presente estudo, observações visuais (figura 3) permitiram constatar a presença de maior quantidade de raízes novas e finas, na maioria das plantas tratadas com as diferentes doses de PBZ, em comparação com as plantas não tratadas. Maior presença de raízes com essas características possibilitam o rápido estabelecimento das plantas em campo e exploração de maior volume de solo e água em comparação com as plantas não tratadas (WATSON, 2001).



Figura 3 Aspectos visuais de plantas do clone BV1321 (A= planta tratada com PBZ na dose de 30 mg.l<sup>-1</sup>; B= planta não tratada com PBZ), aos 130 dias após a aplicação de paclobutrazol

### 3.3 Correlação de Pearson para as características avaliadas

No presente estudo foi avaliada a relação entre as características e índices morfológicos estudados elaborando a matriz de correlação de Pearson para altura (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), índice de robustez (IR), razão entre MSR/MSPA (RRA) e índice de qualidade de Dickson (IQD), em mudas avaliadas aos 130 dias após a aplicação do paclobutrazol. Os resultados dessa correlação são representados na tabela 5.

Tabela 5 Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as características altura (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), índice de robustez (IR), razão entre massa seca da raiz e da parte aérea (RRA) e índice de qualidade de Dickson (IQD), em mudas clonais de *Toona ciliata* var. *australis* tratadas com paclobutrazol

	H	DC	MSR	MSPA	IR	RRA	IQD
H	1,000						
DC	0,566**	1,000					
MSR	0,577**	0,651**	1,000				
MSPA	0,711**	0,632**	0,823**	1,000			
IR	0,867**	0,098 <sup>ns</sup>	0,310**	0,484**	1,000		
RRA	-0,427**	-0,198 <sup>ns</sup>	-0,039 <sup>ns</sup>	-0,579**	-0,409**	1,000	
IQD	0,334**	0,672**	0,942**	0,768**	0,008 <sup>ns</sup>	-0,021 <sup>ns</sup>	1,000

Em que: ns, \*\*, não significativo e significativo pelo teste F aos níveis de  $p > 0,05$ ; e  $p \leq 0,01$ , respectivamente.

De maneira geral, observando as correlações representadas nessa tabela, pode-se depreender que existem associações lineares positivas e significativas entre algumas características de crescimento e índices de qualidade morfológica das mudas clonais de *Toona ciliata*. Por exemplo, o IR foi significativamente correlacionado com H ( $r = 0,867$ ), o IQD foi significativamente correlacionado com MSR ( $r = 0,942$ ) e MSPA ( $r = 0,768$ ). Isso significa que o incremento do IR é dependente do crescimento em altura da muda, enquanto que o incremento do IQD está relacionado com o aumento da massa seca tanto da raiz quanto da parte aérea das mudas de cedro australiano. Esse fato indica a importância de associar essas características de crescimento e índices morfológicos em estudos de qualidade de mudas.

Entretanto o RRA apresentou correlações negativas e de baixa magnitude quando associada a todas outras características (H, DC, MSR, MSPA, IR e IQD), portanto, o RRA é considerado de pouco valor quando associado a essas características.

Sobre a correlação entre características de crescimento e índices morfológicos de qualidade de mudas, a literatura apresenta resultados com tendências variáveis. Por exemplo, Binotto, Lúcio e Lopes (2010), ao avaliarem a relação entre variáveis de crescimento e o IQD, em mudas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* var. *elliottii* verificaram pela correlação de Pearson que a fitomassa seca e o DC foram as variáveis com maiores relações com o IQD. Azevedo (2003) observou em mudas de *Cedrella fissilis* Vell., com 120 dias de idade, que o IQD foi significativamente correlacionado com H, DC, MSPA, MSR e massa seca total.

De acordo com Gomes et al. (2013), fatores como o tipo de espécie, o tipo de manejo de mudas em viveiro, o tipo e proporção do substrato, o volume do recipiente e a idade em que a muda é avaliada podem influenciar no IQD.

A correlação positiva e significativa entre as características de crescimento pode favorecer a seleção indireta de mudas de cedro australiano com base em métodos não destrutivos como H e DC e IR. Por exemplo, Schnurr et al. (1996), ao testarem o PBZ aplicado via foliar em mudas de *Pinus banksiana* Lamb, verificaram que o IR esteve diretamente correlacionado com o índice MSPA/MSR.

Ao se avaliar a qualidade de mudas, nenhuma das características deve ser avaliada isoladamente para prever corretamente o sucesso do plantio em campo (HAASE, 2007). Portanto, é fundamental verificar para cada situação, quais características que melhor se correlacionam entre si, na seleção indireta das mudas, dando preferência aos parâmetros não destrutivos.

Ao se definirem as características mais apropriadas de qualidade de mudas, considerando também as doses adequadas de aplicação de PBZ, deverão ser considerados os aspectos de segurança ambiental. Com relação à escolha de doses adequadas de PBZ, essas podem ser aumentadas desde que não causem danos ao ambiente e à saúde de animais e humanas.

No caso das doses estudadas nesse estudo de *Toona ciliata*, existe baixo risco para a saúde humana e ambiental a não ser em situações extremas de exposição ao produto. De acordo com Brasil (2013), esse produto pertence à classe III na classificação toxicológica, com valor da ingestão diária aceitável (IDA) de  $0,068 \text{ mg.kg}^{-1}$  de peso corpóreo. Em estudos conduzidos por Sousa Silva e Fay (2003), os autores relataram que o referido regulador de crescimento apresentou baixa bioconcentração em tecidos de peixe, e conseqüentemente baixo risco para a saúde humana.

#### 4 CONCLUSÕES

- Todas as doses de paclobutrazol (PBZ) testadas no presente estudo retardaram o crescimento em altura, não afetaram o crescimento em diâmetro, o que proporcionou a melhoria do índice de robustez em todos os clones de *Toona ciliata* avaliados.
- O PBZ reduziu a taxa de produção de massa seca nos clones BV1321 e BV1110.
- A aplicação do PBZ teve efeito significativo no índice dado pela razão massa seca da raiz e da parte aérea e no índice de qualidade de Dickson apenas para o clone BV1321.
- O PBZ apresenta potencial para ser utilizado em viveiro de produção de mudas de *Toona ciliata* visando à melhoria da qualidade dessas mudas, gerando respostas diferenciadas de acordo com o clone e dose utilizadas.

## REFERÊNCIAS

- ABOD, S. A.; YASIN, S. Effects of Paclobutrazol and Daminozide on the Growth of *Acacia mangium* seedlings. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, Serdang, v. 25, n. 2, p. 143 – 147, 2002.
- ALMEIDA, N. A. et al. Biodeterioração de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*). **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 17-26, jan./mar. 2012.
- AVIDAN, B; EREZ, A. Studies of the response of peach and nectarine plants to gibberellin biosynthesis inhibitors in a hydroponic system. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, **Plant Growth Regulation**, New York, v. 17, p. 73-80, 1995.
- AZEVEDO, M. I. R. **Qualidade de mudas de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.) e de Ipê-amarelo (*tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich) produzidas em diferentes substratos e tubetes**. 2003.88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- BAYLEY, A. D.; KIETZKA, J. W. Stock quality and field performance of *Pinus patula* seedlings produced under two nursery growing regimes during seven different nursery production periods. **New Forests**, Dordrecht, v. 13, p. 337–352, 1996.
- BEROVA, M.; ZLATEV, Z. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Plant Growth Regulation**, New York, v. 30, p. 117–123, 2000.
- BINOTTO, A. F., LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464, Oct./Dec. 2010.
- BRASIL. **Monografias de agrotóxicos**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d001a880474596ef9f24df3fbc4c6735/p45.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 23 nov. 2013.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1009-1017, 2012.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* em função de diferentes doses de vermicomposto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 161-170, 2000.

CAMPO, A. D.; NAVARRO, R. M.; CEACERO, C. J. Seedling quality and field performance of commercial stocklots of containerized holm oak (*Quercus ilex*) in Mediterranean Spain: an approach for establishing a quality standard. **New Forests**, Dordrecht, v. 39, p. 19-37, 2010.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CHANEY, W. R. **Growth retardants**: a promising tool for managing urban trees. West Lafayette: Purdue University, 2005. p. 1-6.

CHANEY, W. R. Tree growth retardants: Arborists discovering new uses for an old tool. **Tree Care Industry**, Londonderry, v.14, n.3, p.54-59, mar, 2003.

COSTA, M. A.; TORNISIELO, V. L.; REGITANO, J. B. Mobilidade do paclobutrazol em um solo franco-arenoso cultivado com manga no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2177-2182, 2008.

CRUZ, M. C. M. et al. Flowering and vegetative growth of olive tree submitted to pruning and paclobutrazol application. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 23, n. 2, p. 105-111, 2011.

CUNNINGHAM, S. A. et al. Patterns of host use by the shoot-borer *Hypsipyla robusta* (Pyralidae: Lepidoptera) comparing five Meliaceae tree species in Asia and Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 205, p. 351–357, 2005.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. (Ed.). **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008. Cap. 2, p. 83-124.

DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forests**, Dordrecht, v. 30, n. 2/3, p. 295–311, 2005.

DAVIS, T. D. Regulation of tree growth and development

with triazole compounds. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 17, n. 6, p. 167-170, June 1991.

DESGANGNÉ-PENIX, I. et al. The auxin transport inhibitor response 3 (tir3) allele of BIG and auxin transport inhibitors affect the gibberellin status of Arabidopsis. **The Plant Journal**, Oxford, v. 41, p. 231–242, 2005.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

GHINI, R. Efeito de paclobutrazol na microbiota do filoplano de mangueiras. In: SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F. (Ed.). **Impacto ambiental do regulador de crescimento vegetal paclobutrazol**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p. 39-50. Documentos, 30.

GOMES, D. R. et al. Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013.

HAASE, D. L. Morphological and physiological evaluations of seedling quality. In: THE CONFERENCE "FOREST AND CONSERVATION NURSERY ASSOCIATIONS. **Proceedings...** Fort Collins: USDA, 2007.

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree planter's Notes**, Washington, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.

JOHNSON, J. D.; CLINE, P. M. Seedling quality of southern pines. In: DUREYA, M. L., DOUGHERTY, P. M. (Ed.). **Forest regeneration manual**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1991. p. 143-162.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **The container tree nursery manual**: seedling processing, storage, and outplanting. Washington: USDA Forest Service, 2010. 200 p.

LISBOA, A. C. et al. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 603-609, 2012.

MEXAL, J. G.; LANDIS, T. D. Target seedling concepts: height and diameter. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM MEETING OF THE WESTERN

FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, 1., Roseburg, 1990. **Proceedings...**  
Fort Collins: USDA, 1990. p. 17-37.

MÍGUEZ, M. P.; GONZÁLEZ, G. M.; CARRIÓN, J. Á. P. Influencia de la forma de aplicación de paclobutrazol y la dosis sobre el crecimiento de plantas de alcornoque cultivadas em envase. **Cuadernos de la Sociedad Espanola de Ciencias Forestales**, Palencia, v. 17, p. 75-79, 2004.

MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 333, p. 487-497, 1999.

MORETTI, B. S. et al. **Characterization of micronutrient deficiency in Australian Red Cedar (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*)**. 2012.  
Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/ijfr/2012/587094/ref/>>.  
Acesso em: 22 jan. 2013.

MORETTI, B. S. et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 453-463, out./dez. 2011.

NASSUR, O. A. C. et al. Variações na qualidade de toras de *Toona ciliata* M. Roem. com dezoito anos de idade. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 43-49, jan./mar. 2013.

NAVARRO, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; BAÑON, S. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. **Scientia Horticulturae**, Philadelphia, v. 111, n. 2, p. 133-139, Jan. 2007.

PARDOS, J. A. et al. Growth of container-grown Cork Oak seedlings as affected by foliar and soil application of paclobutrazol. **HortScience**, Alexandria, v. 40, n. 6, p. 1773-1776, 2005.

PIERIK, R. et al. Interactions between ethylene and gibberellins in phytochrome-mediated shade avoidance responses in tobacco. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 136, p. 2928-2936, Oct. 2004.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 51, p. 501-531, 2000.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

RIETVELD, W. Effect of paclobutrazol on conifer seedling morphology and field performance. In: LANDIS, T.D. (Ed.). **Proceedings combined meeting of the Western Forest Nursery Associations**. Fort Collins: USDA, 1988. p. 19-23.

SCHNURR, J. P.; CHENG, Z. M.; BOE, A. A. Effects of plant growth regulators on sturdiness of jack pine seedlings. **Journal of Environmental Horticulture**, Washington, v. 14, n. 4, p.228-230, Dec. 1996.

SOUSA SILVA, C. M. M.; FAY, E. F. **Impacto ambiental do regulador de crescimento Paclobutrazol**. 2003. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/14522/1/documentos30.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

SOUZA, J. C. A. V. et al. Propagação vegetativa de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, p. 205-213, 2009.

SPERRY, C. E.; CHANEY, W. R. Tree growth regulator effect on phototropism- its implication for utility forestry. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 25, n. 1, p. 43-47, 1999.

TSEGAW, T.; HAMMES, S.; ROBERTSE, J. Paclobutrazol-induced leaf, stems, and root anatomical modifications in potato. **Hortscience**, Alexandria, v. 40, n. 5, p. 1343-1346, 2005.

VALLE, R. R.; ALMEIDA, A. A. Growth reduction of paclobutrazol applied at different cacao seedling stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n.11/12, p. 1911-1917, nov./dez. 1991.

VILLAR-SALVADOR, P.; PUERTOLAS, J.; PENUELAS, J. Assessing morphological and physiological plant quality for Mediterranean woodland restoration projects. In: BAUTISTA, S.; ARONSON, J.; VALLEJO, V. R. (Ed.). **Land restoration to combat desertification: innovative approach, quality control and project evaluation**. Valencia: CEAM, 2009. p. 103-120.

WATSON, G. W. Soil applied paclobutrazol affects root growth, shoot

growth, and water potential of American elm seedlings. **Journal of Environmental Horticulture**, Washington, v. 19, n. 3, p. 114–119, Sept. 2001.

WATSON, G. W. Tree root system enhancement with Paclobutrazol. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 22, n. 5, p. 211-217, Sept. 1996.

YIM, K. O.; KWON, Y. W.; BAYER, D. E. Growth responses and allocation of assimilates of rice seedlings by paclobutrazol and gibberellin treatment. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 16, p. 35–41, 1997.

ZHOU, Z. et al. Improved tolerance of teak (*Tectona grandis* L.f.) Seedlings to Low-Temperature stress by the combined effect of arbuscular Mycorrhiza and Paclobutrazol **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 31, n. 3, p. 427-435, Sept. 2012.

ZIECH, R. Q. S. **Características tecnológicas da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) produzida no sul do estado de Minas Gerais**. 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

ZIMMERMAN, R. H.; STEFFENS, G. L. Cultivar, planting density, and plant growth regulator effects on growth and fruiting of tissue-cultured apple trees. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, n. 2, p. 183-193, 1995.

**CAPÍTULO III – PRODUTIVIDADE DE MINICEPAS DE CEDRO  
AUSTRALIANO (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*)  
TRATADAS COM PACLOBUTRAZOL**

## RESUMO

Diante da crescente busca por genótipos mais produtivos para atender à demanda da silvicultura clonal, o aperfeiçoamento dos protocolos de miniestaquia que testam inclusive os reguladores de crescimento vegetal se mostram oportunos. Atualmente, um dos desafios refere-se à redução dos efeitos sazonais na produção de miniestacas utilizando tais reguladores. Objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito do paclobutrazol (PBZ) no aumento do número de axilas e cicatrizes foliares, bem como na produtividade de miniestacas na propagação vegetativa de clones de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis* cultivados no sistema de minijardim clonal.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos completos casualizados em esquema fatorial, onde foram combinados dois fatores, sendo o primeiro constituído de quatro genótipos (clones BV1110, BV1120, BV1150 e BV1321) e o segundo constituído de quatro doses de PBZ (0, 15, 30 e 60 mg.l<sup>-1</sup>) aplicados via substrato. Antes do plantio das minicepas, foram contadas as axilas e cicatrizes foliares (NACF) por centímetro de caule, aos 130 dias após a aplicação do PBZ enquanto que o número de miniestacas por metro quadrado de minijardim clonal (PMM) foi obtido pelo somatório de 22 coletas sucessivas no período de março a setembro de 2013. O minijardim clonal foi construído em leito de areia, sob teto translúcido retrátil, com fertirrigação por gotejamento. Os resultados revelaram que tanto o fator PBZ quanto o fator genótipo tiveram efeitos significativos no aumento do NACF e na PMM em todos os clones. Verificou-se também que para ambas as características, a interação entre os dois fatores foi altamente significativa, mostrando a existência de efeitos diferenciados de doses de PBZ dentro dos clones. Nessa interação, as doses de 15, 30 e 60 mg.l<sup>-1</sup> aumentaram o NACF em todos os clones enquanto que para PMM só foi significativa para o clone BV1120 e dose de 15 mg.l<sup>-1</sup>. Assim, conclui-se que a referida dose se apresenta como a mais apropriada para o tratamento estimulatório de produtividade de minicepas do cedro australiano cultivado em minijardim clonal.

Palavras-chave: *Meliaceae*. Propagação vegetativa. Reguladores de crescimento vegetal.

## ABSTRACT

In order to attend the increasing demand for more productive genotypes of clonal silviculture, the improvement of mini-cuttings protocols, which test inclusive plant growth regulators can be seeing as a great potential. Currently, one of the challenges refers to the reduction of seasonal effects in the production of mini-cuttings using such regulators. The present study had as objective to evaluate the paclobutrazol (PBZ) effect in increasing of the number of axillary and leaves scars, as well as the productivity of mini-cuttings in the vegetative propagation of clones of *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis* grown in clonal mini-garden system. Two experiments were conducted in randomized block design with a factorial arrangement. Two factors were combined, being the first constituted of four genotypes (clones BV1110, BV1120, BV1150 and BV1321) and the second constituted of four doses of PBZ (0, 15, 30 and 60 mg.l<sup>-1</sup>) applied via substrate. Before planting of mini-stumps, were counted axils and leaves scars (NALS) per centimeter of stem, at 130 days after PBZ application, while the number of mini-cuttings per square meter of clonal mini-garden (NMS) was obtained by the sum of 22 successive harvests from march to september 2013. The clonal mini-garden was built in sand bed, under translucent retractable roof with drip fertirrigation. The results revealed that both genotypes and PBZ factors had significant effects on the increase of NALS and NMS in all clones. It was also found that for both traits, the interaction between the two factors was highly significant, showing the existence of differential effects of PBZ doses within the clones. In this interaction, the doses of 15, 30 and 60 mg.l<sup>-1</sup> increased NALS in all clones whereas for NMS it was only significant for the clone BV1120 and dose of 15 mg.l<sup>-1</sup>. Thus, it is concluded that this dose is the most appropriate for the productivity stimulatory treatment of the Australian cedar mini-stumps cultivated on the clonal mini-garden.

Keywords: *Meliaceae*. Vegetative propagation. Plant growth regulation.

## 1 INTRODUÇÃO

A *Toona ciliata* M. Roemer (cedro australiano) é uma espécie arbórea exótica, pertencente à família *Meliaceae*, a qual engloba as mais valiosas espécies tropicais produtoras de madeira (GRAU; ZAPATER; NEUMANN, 2006). Essa espécie, pela sua produtividade e qualidade da madeira, apresenta grande potencial socioeconômico para o setor florestal brasileiro (ARES; FOWNES, 2000). Por essa razão, estão em andamento os programas de melhoramento genético para a espécie, de onde os materiais genéticos já selecionados (FERREIRA et al., 2012a; SANTOS, 2011) estão sendo multiplicados assexualmente pelo processo de clonagem por miniestaquia, com o objetivo principal de superar os problemas da indisponibilidade de sementes geneticamente melhoradas e propiciar ganhos genéticos imediatos.

Com o advento da silvicultura clonal e da sua necessidade de emprego de genótipos altamente produtivos e especializados, foram conduzidos recentes estudos no campo da propagação vegetativa para a obtenção de mudas clonais em larga escala (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009). A partir desses estudos, a técnica de miniestaquia se tornou um método bastante adequado e vem sendo amplamente adotado pelas empresas do setor florestal, principalmente para as espécies de *Eucalyptus* (BRONDANI et al., 2012). Isso decorre do fato de que a referida técnica proporciona várias vantagens, principalmente, no que se refere à redução dos custos de implantação, manejo e transporte, alto grau de juvenilidade das brotações, facilitando o processo de enraizamento das miniestacas, baixa demanda de mão de obra, redução do consumo hídrico e agroquímico quando comparada com a estaquia convencional (ASSIS; FETT NETO; ALFENAS, 2004; MAFIA et al., 2005).

Entretanto, para o cedro australiano a técnica de miniestaquia necessita do desenvolvimento de estudos complementares para gerar novos protocolos

para que essa metodologia possibilite o alcance do sucesso almejado para a silvicultura clonal. Dentre esses, citam-se os recentes trabalhos conduzidos por Benatti et al. (2012), Ferreira et al. (2012b), Silva et al. (2012) e Souza et al. (2009).

A necessidade de aperfeiçoamento dessa técnica de propagação do cedro australiano está relacionada à sua reduzida produtividade de miniestacas, principalmente no período de inverno, no qual naturalmente ocorre a queda da folhagem em decorrência do fenômeno da deciduidade (HEINRICH et al., 2008), diferentemente do que ocorre nas espécies de *Eucalyptus* cultivadas no Brasil.

Assis, Fett Neto e Alfenas (2004) e Vieira et al. (2010) relatam que as variações na produtividade de miniestacas decorrem em função do material genético em propagação, bem como das diferentes práticas de manejo adotadas no processo produtivo. Além disso, Garza et al. (2001), mencionam os efeitos dos fitorreguladores no crescimento e desenvolvimento de plantas. Segundo Berova e Zlatev (2000) essas substâncias podem influenciar no processo fisiológico de formação de raízes.

Esses fatos indicam que a utilização de reguladores de crescimento pode ser estrategicamente importante para uso nas práticas de manejo de minijardins clonais, pois, essas substâncias podem estar relacionadas com a produtividade de miniestacas. Dentre esses reguladores, destaca-se o paclobutrazol (PBZ) devido à sua atuação no crescimento vegetal, expressada pela redução significativa do tamanho das folhas e dos internódios (CHANEY, 2003), além de induzir a formação de aglomerados de gemas axilares (ALBANY et al., 2005) e a melhoria do processo de multiplicação de propágulos assexuais (OPATRŇÁ; NOVAK; OPATRŇÝ, 1997).

Entretanto, ainda faltam informações sobre a ação do PBZ no processo de reprodução assexuada por enraizamento de estacas de cedro australiano,

sendo, portanto, importante avaliar os seus efeitos fisiológicos, principalmente, com relação ao aumento de produção de propágulos constituídos por miniestacas.

Assim, o presente estudo teve o objetivo de avaliar o efeito do PBZ no aumento do número de axilas e cicatrizes foliares, bem como na produtividade de minicepas de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*, cultivadas no sistema de minijardim clonal.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no período de julho de 2012 até setembro de 2013, no viveiro da empresa Bela Vista Florestal, localizado no Município de Campo Belo, Minas Gerais, latitude 20°53'30"S, longitude 45°16'15" W e altitude média de 945 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como Cwa: subtropical, chuvoso e mesotérmico. A região apresenta uma temperatura média anual de 23,5°C, sendo a máxima de 30°C e a mínima de 10°C, cuja precipitação média anual é de 1250 mm.

A primeira etapa do experimento foi conduzida a pleno sol, onde foram utilizadas mudas produzidas por miniestaquia de quatro clones de *Toona ciliata* Roemer var. *australis*, com idade de cinco meses e produzidas em tubetes de polietileno de 55 cm<sup>3</sup>. A escolha dos clones foi fundamentada nas suas produtividades em plantios comerciais no campo e as doses foram escolhidas com base nas concentrações estudadas em *Quercus suber* e publicadas por Míguez, González e Carrión (2004).

Os lotes de mudas experimentais de cada clone foram constituídos após seleção e padronização por tamanho, com os valores médios inicial de altura de 9,3 cm e diâmetro do colo de 3,7 cm. Essas mudas foram arranjadas em bandejas de polietileno com 224 células. Nessa bandeja, as mudas foram arranjadas de forma alternada em quinquêncio para uma densidade inicial de 144 mudas/m<sup>2</sup>. Os tubetes haviam sido preenchidos com substrato composto por vermiculita e casca de arroz carbonizada (3:1, v:v).

Os tratos culturais realizados durante a condução dessa primeira etapa foram a eliminação manual de ervas daninhas, fertirrigação por microaspersão por bicos com vazão de 300 l.hora<sup>-1</sup> e espaçados de 4 x 4 m. Utilizou-sete turnos de regas diárias de 6 minutos cada.

Ainda na primeira fase do experimento, a fertirrigação foi ajustada para uma solução nutritiva contendo (mg.dm<sup>-3</sup>): 80 de N, 200 de P, 150 de K, 50 de S, 75 de Ca, 15 de Mg, 0,5 de B, 1,5 de Cu e 5,0 de Zn. As fontes dos nutrientes

foram os seguintes sais:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , conforme adaptado por Moretti et al. (2011).

As mudas foram tratadas com paclobutrazol (PBZ), com a denominação comercial Cultar® (25% p/v EC), cuja fórmula química é ([2RS, 3RS]-1-[4-clorofenil]-4,4-dimetil-2-[1,2,4-triazol-1-il]-pentano-3-ol) (COSTA; TORNISIELO; REGITANO, 2008). O PBZ foi diluído em água para preparação das diferentes dosagens testadas no experimento, que foram de 0, 15, 30 e 60  $\text{mg.l}^{-1}$  aplicado via imersão do substrato em solução com esse produto, em uma única aplicação no início do teste.

As mudas produzidas na primeira fase do experimento, que durou 130 dias, foram posteriormente transferidas para a segunda fase, em minijardim clonal.

O minijardim clonal foi estabelecido em canaletões de fibrocimento com leito de areia arranjado sob cobertura plástica transparente retrátil não climatizada, conforme descrito por Alfenas et al. (2004) e Xavier, Wendling e Silva (2009). O espaçamento entre mudas foi de 15 x 15 cm com densidade de 44 minicepas. $\text{m}^{-2}$ . A remoção do ápice da muda para constituir a minicepa foi efetuada removendo três cm do meristema apical, tendo o cuidado de manter no mínimo um par de folhas por minicepa.

A fertirrigação diária foi automatizada por gotejamento, adaptada a partir de Higashi, Silveira e Gonçalves (2002), utilizando a solução nutritiva composta com os seguintes macro e micronutrientes ( $\text{mg.l}^{-1}$ ): 100 de N, 15 de P, 100 de K, 100 de Ca, 25 de Mg, 35 de S, 0,3 de B, 0,03 de Cu, 3 de Fe, 0,3 de Mn, 0,01 de Mo, 0,05 de Zn e 40 de Si.

Porém, em ambas as fases experimentais utilizou-se o delineamento de blocos completos casualizados em um esquema fatorial onde foram combinados

dois fatores, sendo o primeiro fator constituído de quatro genótipos (clones BV1110, BV1120, BV1150 e BV1321) e o segundo fator constituído de quatro doses de PBZ (0, 15, 30 e 60 mg.l<sup>-1</sup>). Na primeira fase utilizaram-se seis blocos e quatro plantas por parcela enquanto que na segunda fase experimental (em minijardim clonal) utilizaram-se quatro blocos com seis plantas por parcela.

Foi analisado o efeito das diferentes doses de PBZ e clones do cedro australiano, bem como suas interações sobre as características estudadas. As características avaliadas na primeira fase do experimento foram o número de axilas e cicatrizes foliares (NACF) e o número de axilas e cicatrizes foliares por centímetro de caule da copa da muda (NACF.cm<sup>-1</sup>) avaliada aos 130 dias após a aplicação do PBZ. O NACF foi obtido medindo a altura da copa da muda e posteriormente se efetuou a contagem de axilas e cicatrizes foliares existentes nessa porção.

Na segunda fase experimental foi avaliado o número de miniestacas por metro quadrado de canteiro de minijardim clonal (PMM), consistindo no somatório dos valores contados de miniestacas acumuladas de março a setembro de 2013.

Os dados de NACF (obtidos aos 130 dias) e de PMM (obtidos em 229 dias) foram submetidos à análise de variância (ANAVA), utilizando-se o modelo estatístico:  $Y_{ijk} = \mu + D_i + C_j + DC_{ij} + B_k + E_{ijk}$ . Onde:  $Y_{ijk}$  é o valor observado na  $i^{\text{ésima}}$  dose de PBZ, aplicada no  $j^{\text{ésimo}}$  clone do  $k^{\text{ésimo}}$  bloco;  $\mu$  é a média geral observada;  $D_i$  é o efeito da  $i^{\text{ésima}}$  dose de PBZ (efeito fixo);  $C_j$  é o efeito do  $j^{\text{ésimo}}$  clone (efeito fixo);  $DC_{ij}$  é o efeito da interação entre a  $i^{\text{ésima}}$  dose e o  $j^{\text{ésimo}}$  clone (efeito aleatório);  $B^k$  é o efeito do  $k^{\text{ésimo}}$  bloco (efeito aleatório) e o  $E_{ijk}$  é o erro aleatório e independente associado às observações  $Y_{ijk}$ .

Os dados coletados do número de axilas e cicatrizes foliares foram transformados em  $(x+0,5)^{0,5}$ . As médias das características com significativos efeitos principais (dose de PBZ e clone) ou interativos entre esses fatores foram

comparadas entre si, segundo o teste de Scott e Knott (1974). Para todas as análises utilizou-se o programa estatístico R<sup>®</sup> (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

Para as análises de regressão, envolvendo a produção de miniestacas ao longo do tempo, os modelos foram selecionados de acordo com a grandeza dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e pela significância dos coeficientes de regressão, utilizando o teste de t-student ( $p \leq 0,05$ ).

### **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados são apresentados em dois itens separados, 3.1 e 3.2, onde no primeiro se encontram as avaliações do número de axilas e cicatrizes foliares, enquanto que no segundo é abordada a produção de miniestacas.

### 3.1 Número de axilas e cicatrizes foliares

A análise de variância revelou que existem interações significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre as doses de PBZ e os clones avaliados para o número de axilas e cicatrizes foliares (NACF) por centímetro de caule nas mudas clonais de *Toona ciliata*. Entretanto, também houve diferenças significativas para cada um dos fatores estudados isoladamente, para as variáveis analisadas. Na tabela 1 é representado o resumo da análise de variância para as características estudadas.

Tabela 1 Resumo da análise de variância para o número de axilas e cicatrizes foliares (NACF) de *Toona ciliata* aos 130 dias após a aplicação de paclobutrazol

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	
		NACF***	NACF.cm <sup>-1</sup>
Bloco	5	0,040167 <sup>ns</sup>	0,010006 <sup>ns</sup>
Doses (D)	3	0,821111**	0,503545**
Clones (C)	3	0,471111**	0,075034**
D X C	9	0,184444**	0,032301**
D X BV1110	3	0,967778**	0,295517**
D X BV1120	3	0,254444**	0,131828**
D X BV1150	3	0,128889*	0,084515**
D X BV1321	3	0,023333 <sup>ns</sup>	0,088589**
Resíduo	75	0,033278	0,005474
Média	-	10,9	2,99
C.V.(%)	-	11,07	10,42

Em que: ns, \*, \*\*, não significativo e significativo pelo teste F aos níveis de  $p > 0,05$ ;  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ , respectivamente. \*\*\*Valores de NACF transformados em  $(x+0,5)^{0,5}$ .

Nessa tabela, verifica-se que a média geral para o número de axilas e cicatrizes foliares e seu valor por centímetro foram de 10,9 e 2,99, cujos coeficientes de variação observados foram de 11,1% e 10,4%, respectivamente, estando dentro dos limites aceitáveis quanto à qualidade experimental.

Ao decompor a interação detectada entre os dois fatores nas variáveis estudadas, observa-se que a significância entre doses dentro de clones ocorreu para todos os clones, com exceção do clone BV1321 quando foi avaliado o número de axilas e cicatrizes foliares.

Quando se avalia o efeito da aplicação do PBZ sobre o número de axilas e cicatrizes foliares, verifica-se na tabela 2, que todas as doses do referido regulador de crescimento proporcionaram maiores valores para os clones BV1110, BV1120 e BV1150 em comparação com as plantas que não receberam o PBZ.

Tabela 2 Comparação das médias do número de axilas e cicatrizes foliares (NACF) em clones de *Toona ciliata* var. *australis* avaliados aos 130 dias após a aplicação de paclobutrazol (PBZ)

Clones	Doses de PBZ	Médias
--------	--------------	--------

	(mg.l <sup>-1</sup> )	NACF (nr)	NACF.cm <sup>-1</sup>
BV1110	0	7,62 b	1,71 b
	15	13,28 a	3,89 a
	30	12,75 a	3,66 a
	60	12,80 a	3,91 a
	<b>Média</b>	<b>11,61</b>	<b>3,29</b>
BV1120	0	10,18 b	2,33 b
	15	13,45 a	3,65 a
	30	12,58 a	3,76 a
	60	11,97 a	3,40 a
	<b>Média</b>	<b>12,04</b>	<b>3,29</b>
BV1150	0	8,88 b	2,18 b
	15	10,23 a	3,01 a
	30	10,85 a	2,76 a
	60	9,58 b	3,06 a
	<b>Média</b>	<b>9,89</b>	<b>2,75</b>
BV1321	0	10,33 a	2,13 b
	15	10,90 a	2,79 a
	30	9,90 a	2,93 a
	60	10,37 a	2,80 a
	<b>Média</b>	<b>10,38</b>	<b>2,66</b>

Médias de NACF dentro do mesmo clone seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott ( $p \leq 0,05$ ). Dados de NACF não transformados.

Ao avaliar o NACF no clone BV1150 verifica-se que a menor média (9,6) foi observada na dose de 60 mg.l<sup>-1</sup> que se equipara estatisticamente a das plantas não tratadas (8,9). Fora desse caso, em todos os outros clones foram obtidas médias superiores à dose 0,0 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ, embora estatisticamente semelhantes entre si, dentro do clone. Esse fato pode estar associado à fitotoxicidade dessa dose quando comparada às doses de 15 e 30 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ.

Quando se analisa o NACF por centímetro de caule, verifica-se em todos os clones que a aplicação do PBZ promoveu o seu aumento. Esse fato evidencia a vantagem da utilização do PBZ no aumento da produção de brotações foliares

por planta. Pois, é dessa região que se espera que sejam produzidas gemas foliares que irão gerar as miniestacas.

Esses resultados são consistentes com os obtidos por outros autores que também utilizaram o PBZ. Por exemplo, Cruz et al. (2011) observaram a redução de 42,4% no comprimento dos entrenós, e aumento do número de brotações em plantas de *Olea europaea* L.; Albany et al. (2005) obtiveram maior número de brotações crescendo em roseta em plantas de *Musa* sp., Wilkinson e Richards (1991) verificaram a redução da distância dos entrenós e aumento de brotações florais com o aumento das doses de PBZ em plantas de *Rhododendron* sp.

A melhoria dessas características, quando aplicadas doses adequadas de PBZ, constitui uma oportunidade a ser explorada em minijardins clonais com potencial efeito no aumento da produção de miniestacas.

### 3.2 Produtividade de minicepas

Na tabela 3 são apresentados os resultados da análise de variância (ANAVA) para a produtividade média de miniestacas por metro quadrado de canaletão, produzidas ao longo de 229 dias. É evidenciado nessa tabela que a produção de miniestacas não é influenciada pela interação entre as doses de paclobutrazol (PBZ) e os clones estudados, porém, verifica-se que os dois fatores se mostraram significativos isoladamente ( $p \leq 0,05$ ). A média geral de miniestacas produzidas foi de 1100, com o coeficiente de variação de 12,36%, que indica qualidade experimental aceitável.

Tabela 3 Resumo da análise de variância para a produtividade média de miniestacas (PMM) por metro quadrado em *Toona ciliata* produzidas durante os 229 dias após o desponde das matrizes no minijardim clonal

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio
		PMM (Miniestacas.m <sup>-2</sup> )
Bloco	3	15123,454 <sup>ns</sup>
Dose (D)	3	187053,003**
Clone (C)	3	1942425,315**
DXC	9	29902,448 <sup>ns</sup>
D XBV1110	3	17397,116 <sup>ns</sup>
D XBV1120	3	118925,446**
D XBV1150	3	103982,603**
D XBV1321	3	36455,183 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	18,519,277
Média	–	1100
C.V.(%)	–	12,36

Em que: ns, \*\*, não significativo e significativo pelo teste F aos níveis de  $p > 0,05$  e  $p \leq 0,01$ , respectivamente.

Apesar de não ter sido evidenciada a interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os fatores doses e clones, ao desdobrá-la foram detectadas diferenças significativas entre doses de PBZ em dois dos clones estudados (BV1120 e BV1150). Esse fato é ilustrado na figura 1.

Nessa figura verifica-se que os clones BV1120 e BV1150 apresentaram diferenças dentro das doses avaliadas, tendo se destacado a dose de 15 mg.l<sup>-1</sup> no clone BV1120 com a média de 1728 miniestacas coletadas, sendo 14,7% superiores às plantas não tratadas. Entretanto, a pior produção (591,1) foi observada na dose de 60 mg.l<sup>-1</sup> do clone BV1150 (decréscimo de 13,2% em relação à dose 0 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ).

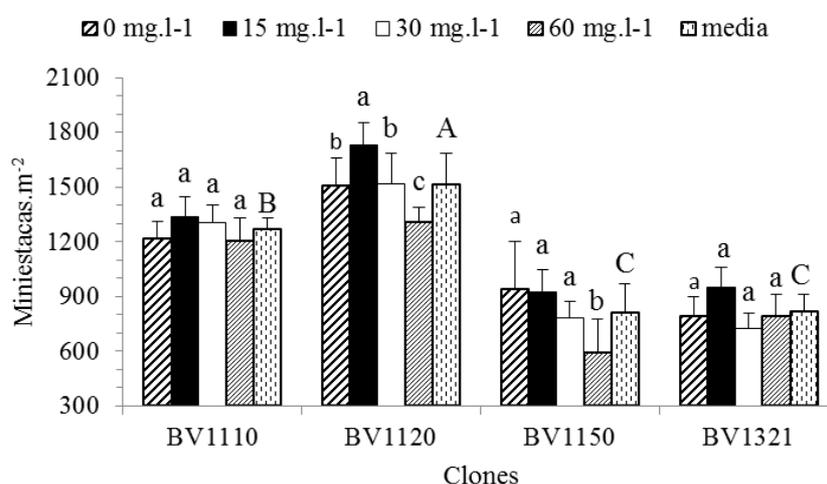


Figura 1 Produtividade de minicepas por metro quadrado em quatro clones (BV1110, BV1120, BV1150, BV1321) de *Toona ciliata* var. *australis*, em 229 dias de coletas sucessivas, tratados com paclobutrazol (média  $\pm$  desvio padrão). As médias dentro de clones seguidas pelas mesmas letras minúsculas e entre clones pelas mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott ( $p \leq 0,05$ )

Quando se avalia a média de miniestacas por metro quadrado por clone, sem considerar as doses de PBZ, o clone BV1120 se destacou estatisticamente dos demais, com 1515,6 miniestacas coletadas em 22 coletas, fato que pode estar associado a ótimas condições fisiológicas das minicepas desse clone ou potencial genético do mesmo.

Essa produção é considerada baixa quando comparada com outras espécies, especialmente do gênero *Eucalyptus*. Alfenas et al. (2004) se referindo a esse aspecto afirmam que a produtividade de miniestacas depende do material genético e tipo de minijardim utilizado, se em tubete ou canaletão. Ainda sobre a produtividade de miniestacas em espécies desse gênero, Xavier, Wendling e Silva (2009) afirmam ser possível atingir uma amplitude de variação anual de

8,000 a 15,000 enquanto que Assis, Fett Neto e Alfenas (2004) apresentam a possibilidade de se produzir até 24,000 miniestacas.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Brondani et al. (2012) ao avaliarem a produção de miniestacas em minicepas do híbrido de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii* obtiveram uma produção de 18,934.76; 20,942.27 e 20,748.14 miniestacas m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente para os clones H12, H19 e H20, porém, sem o uso de reguladores de crescimento vegetal.

No presente estudo, ao se analisar o efeito da dose 15 mg.l<sup>-1</sup> de PBZ, foi verificado que os clones apresentaram produtividades que variaram de 1,0 (nos clones BV1150 e BV1321), 1,4 (no clone BV1110) e 1,8 (no clone BV1120) miniestacas por minicepa por coleta. Essa produtividade é equiparada à observada por outros autores que trabalharam com espécies da família *Meliaceae*, contudo, sem o uso do PBZ.

Por exemplo, Souza et al. (2009) ao trabalharem com o cedro australiano em minijardim clonal usando tubetes de 280 cm<sup>3</sup>, obtiveram um número médio de 1,1 miniestacas por minicepa aos 70 dias de coleta que se elevou para 5,1 aos 220 dias. Já Xavier et al. (2003), em minijardim clonal de *Cedrela fissilis* Vell em tubetes de 200 cm<sup>3</sup>, obtiveram 1,3 miniestacas por minicepa por coleta. Porém, quando se avalia a produtividade por minicepa em espécies de *Eucalyptus*, são relatados valores muito superiores. Cunha, Wendling e Souza Júnior (2005) obtiveram para *Eucalyptus benthamii* a produção de 8,1 miniestacas por minicepa para produção em canaletão e 4,1 para produção em tubete, a cada 25 a 30 dias de coleta.

A produtividade de minicepas obtida no presente estudo pode estar associada a vários fatores, como por exemplo, os de natureza genética, a idade das minicepas ou condições climáticas na época de coleta de miniestacas. Essa possibilidade é fundamentada também por Hartmann (2002) que afirma que

variações climáticas extremas podem interferir na produção de material vegetativo, assim como no ambiente de enraizamento.

Nesse aspecto, Berova e Zlatev (2002), relatam que o estresse causado por baixas temperaturas pode inibir o crescimento em algumas espécies de plantas. Entretanto, esses autores constataram em seus estudos com trigo (*Triticum aestivum* L., cv. *Beloslava*), que após o período de estresse climático de baixas temperaturas, as plantas tratadas com PBZ apresentaram maiores taxas de crescimento em altura e de biomassa (fresca e seca), quando comparadas às plantas não tratadas. Ainda no mesmo estudo, esses autores concluíram que o PBZ protege as plantas contra danos causados por baixas temperaturas.

Deficiências nutricionais podem causar problemas no crescimento, desenvolvimento e produtividade em plantas (MORETTI et al., 2012). Tendo em conta esse aspecto, pode ser que as exigências nutricionais de cada um dos clones tenham afetado a produtividade das minicepas. Em seus estudos, Benatti et al. (2012) e Moretti et al. (2011), verificaram que as matrizes clonais de cedro australiano apresentaram elevadas exigências nutricionais.

Em termos fisiológicos, Rodrigues et al. (2013) ao analisarem a taxa fotossintética em clones de *Toona ciliata* expostos às mesmas doses de paclobutrazol testadas no presente estudo, verificaram que a aplicação desse regulador de crescimento não ocasionou danos à produtividade dos processos fisiológicos dessas plantas.

No inverno foi possível realizar um total de 13 coletas (6,619 miniestacas) e no outono um total de nove coletas (2,893 miniestacas), totalizando 22 coletas (9,512 miniestacas) no período de estudo. Portanto, o maior número de coletas ocorrido no inverno pode estar associado às coletas anteriores ocorridas no outono, que podem ter estimulado a emissão de brotações para o período subsequente (inverno) ou por que no inverno as

minicepas já se encontravam em suas melhores condições fisiológicas aliadas à idade das minicepas.

Esse fato é positivo para a miniestaquia da *Toona ciliata* por ser uma espécie caducifolia, onde normalmente no período de inverno, essa espécie apresenta repouso do seu crescimento vegetativo, conforme reportado por Heinrich et al. (2008). Porém, são também esperados aumentos na produção de brotos devido ao efeito do PBZ, após o outono/inverno, conforme os argumentos de Davis (1991). Esse autor afirma que as plantas tratadas com PBZ, após um período de dormência, tendem a apresentar um crescimento acelerado. O mesmo autor comenta que a razão desse comportamento é ainda desconhecida, mas pode estar relacionada com o acúmulo de carboidratos e minerais durante o período de repouso do crescimento vegetativo, que impulsiona o rápido crescimento e emissão de novas brotações após a dissipação do efeito inibitório.

Esses resultados contrastam com os obtidos por Brondani et al. (2012) que observaram menor número de coletas (5-6) e menor produção de miniestacas no inverno em minicepas de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*. Já Ferriani et al. (2011) em *Piptocapha angustifolia* obtiveram maior número de brotações no inverno (4,9 brotações por minicepa) que superaram as do verão (4,4).

Souza et al. (2010) ao analisarem o efeito de PBZ na taxa de brotações *in vitro* em explantes de duas variedades de *Musa sp.* obtiveram resultados diferenciados entre as cultivares, onde para um clone, as doses crescentes de PBZ proporcionaram aumento de brotações e para o outro clone, o PBZ teve efeito contrário.

Nesse estudo também foi realizada a evolução temporal da produção de miniestacas em cada clone. Observou-se que com o tempo, as concentrações desse regulador de crescimento determinaram o ajuste de modelo polinomial

quadrático de alta magnitude ( $>0,80$ ), conforme se pode observar na figura 2 e tabela 4.

Observa-se na referida figura que não foi evidenciada a estabilização da produção. Também se pode notar pela figura que o clone BV1120 teve a tendência de produzir mais miniestacas em relação aos demais, destacando-se a produção ocorrida na dose de  $15 \text{ mg.l}^{-1}$  de PBZ. Essa dose se mostra como sendo de particular importância por evidenciar a produção de miniestacas em todos os clones avaliados.

Além disso, quando se compara a evolução temporal entre os clones, se nota que apenas nos clones BV1120 e BV1150 existe tendência de se distinguir a produção entre as doses, desde as primeiras coletas até ao final, enquanto que nos outros dois clones (BV1110 e BV1321) essa distinção não foi evidenciada.

Os modelos de regressão e os coeficientes de determinação que melhor se ajustaram para essa característica são representados na tabela 4.

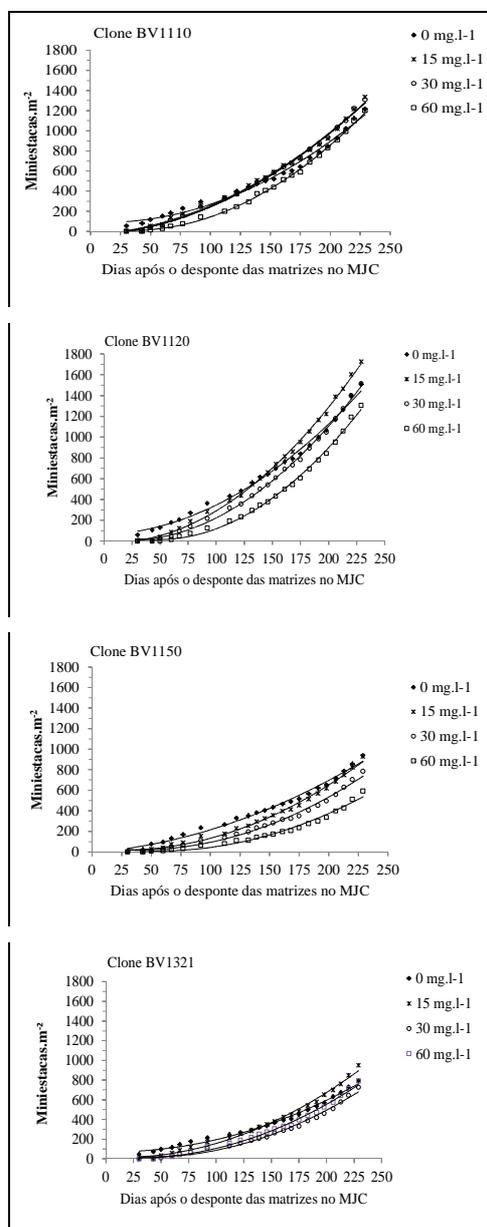


Figura 2 Evolução temporal da produtividade acumulada de miniestacas por metro quadrado, em minijardim clonal (MJC) com quatro clones de *Toona ciliata*, avaliada ao longo de 229 dias

Tabela 4 Equações de regressão respectivos coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_a$ ) e erro padrão residual ( $S_{yx}$ ) para a produção acumulada de miniestacas por metro quadrado em mudas clonais de *Toona ciliata* var. *australis* avaliadas após a aplicação de paclobutrazol

Clones	Doses de PBZ (mg.l <sup>-1</sup> )	Equações de regressão	$R^2_a$	$S_{yx}$
BV1110	0	$\hat{y}=91,579-0,4747X+0,0225X^2$	0,9893	35,00
	15	$\hat{y}=-31,31+0,6544X+0,0221X^2$	0,9951	28,02
	30	$\hat{y}=-37,249+0,5427X+0,0227X^2$	0,9973	21,15
	60	$\hat{y}=43,286-2,0565X+0,0306X^2$	0,9982	15,75
BV1120	0	$\hat{y}=61,184+0,3861x+0,0247x^2$	0,9938	33,63
	15	$\hat{y}=-13,165-0,4309x+0,0347x^2$	0,9983	22,35
	30	$\hat{y}=16,287-1,3142x+0,0338x^2$	0,9978	22,12
	60	$\hat{y}=99,102-3,6214x+0,0381x^2$	0,9966	23,59
BV1150	0	$\hat{y}=-4,0361+0,8958x+0,013x^2$	0,9896	27,27
	15	$\hat{y}=31,844-1,0692x+0,0208x^2$	0,9937	21,93
	30	$\hat{y}=51,065-1,5666x+0,0199x^2$	0,9894	23,91
	60	$\hat{y}=66,038-1,9843x+0,0176x^2$	0,9821	22,85
BV1150	0	$\hat{y}=71,238-0,1466X+0,0138X^2$	0,991	20,60
	15	$\hat{y}=17,102-0,4889X+0,0189X^2$	0,9927	23,90
	30	$\hat{y}=45,45-1,4154X+0,0183X^2$	0,9906	20,74
	60	$\hat{y}=22,109-0,9774X+0,0182X^2$	0,9937	18,89

No entanto, os resultados do presente estudo sugerem que o paclobutrazol pode ser utilizado em minijardins clonais de cedro australiano, com efeito diferenciado entre clones. Por outro lado, estudos adicionais sobre a evolução temporal e efeitos residuais desse retardante de crescimento em minijardins clonais são necessários para um período maior de avaliação.

A mobilidade do paclobutrazol no solo é muito baixa, portanto o perigo de contaminação pela lixiviação é minimizado, e quando aplicado nas doses

recomendadas não deve causar risco à saúde humana (FERRACINI et al., 2008). Em estudos conduzidos por Sousa Silva e Fay (2003) se relata que o referido regulador de crescimento apresentou baixa bioconcentração em tecidos de peixe, e conseqüentemente baixa risco para à saúde humana. Devido à sua baixa mobilidade no solo (FERRACINI et al., 2008).

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- O número de axilas e cicatrizes foliares, bem como a produção de miniestacas variou conforme os clones de *Toona ciliata* var. *australis* e conforme as doses de paclobutrazol testadas.
- A dose de 15 mg.l<sup>-1</sup> de paclobutrazol proporcionou melhores resultados para o aumento do número de axilas e cicatrizes foliares nos clones BV1110 e BV1120 e aumento do número de miniestacas no clone BV1120, portanto, a referida dose apresenta-se como a mais apropriada para o tratamento estimulatório de produtividade de minicepas do cedro australiano cultivado em minijardim clonal.

## REFERÊNCIAS

- ALBANY, N. R. et al. Comparative study of morphological parameters of Grand Nain banana (*Musa AAA*) after in vitro multiplication with growth retardants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 83, p. 357–361, 2005.
- ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 442 p.
- ARES, A.; FOWNES, J. H. Productivity, nutrient and water-use efficiency of *Eucalyptus saligna* and *Toona ciliata* in Hawaii. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 139, p. 227-236, 2000.
- ASSIS, T. F.; FETT NETO, A. G.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. In: WALTER, C.; CARSON, M. (Ed.). **Plantation Forest Biotechnology for the 21st Century**. New Delhi: Signpost, 2004. p. 303-333.
- BENATTI, B. P. et al. Development of clonal matrices of australian red cedar in different substrates under fertilizer doses. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 3, p. 285-293, maio/jun. 2012.
- BEROVA, M.; ZLATEV, Z. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) **Plant Growth Regulation**, New York, v. 30, p. 117–123, 2000.
- BEROVA, M.; ZLATEV, Z.; STOEVA, N. Effect of paclobutrazol on wheat seedlings under low temperature stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Sofia, v. 28, n. 1/2, p. 75–84, 2002.
- BRONDANI, G. E. et al. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*: (I) sobrevivência de minicepas e produção de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 11-21, jan./mar. 2012.
- CHANEY, W. Tree Growth Retardants: Arborists discovering new uses for an old tool. **Tree Care Industry**, Londonderry, v. 14, p. 54-59, 2003. 5 p.
- COSTA, M. A.; TORNISIELO, V. L.; REGITANO, J. B. Mobilidade do paclobutrazol em um solo franco-arenoso cultivado com manga no nordeste

brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2177-2182, 2008.

CRUZ, M. C. M. et al. Flowering and vegetative growth of olive tree submitted to pruning and paclobutrazol application. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 23, n. 2, p. 105-111, 2011.

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

DAVIS, T. D. Regulation of tree growth and development with triazole compounds. **Journal of arboriculture**, Savoy, v. 17, n. 6, p. 167-170, June 1991.

FERRACINI, V. L. et al. **Determinação de paclobutrazol em solo por cromatografia líquida de alta eficiência**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 4 p. Comunicado Técnico, 49.

FERREIRA, D. A. et al. Influência da posição das miniestacas na qualidade de mudas de cedro australiano e no seu desempenho inicial no pós-plantio **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 715-723, out./dez. 2012b.

FERREIRA, R. T. et al. *Toona ciliata* genotype selection with the use of individual BLUP with repeated measures. **Scientia Agricola, Piracicaba**, v. 69, n. 3, p. 210-216, May/June 2012a.

FERRIANI, A. P. et al. Produção de brotações e enraizamento de miniestacas de *Piptocarpha angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 257-264, jul./set. 2011.

GARZA, M. S. et al. Efecto de cuatro fitoreguladores comerciales en Desarrollo y rendimiento del girasol. **Ciencia UANL**, Nuevo León, v. 4, n. 1, p. 50, 2001.

GRAU, A.; ZAPATER, M. A.; NEUMANN, R. A. Botánica Y distribución del género *Cedrela* em el noroeste de Argentina. In: PACHECO, S.; BROWN, A. (Ed.). **Ecología y producción de Cedro (género *Cedrela*) en las Yungas australes**. Tucumán: Del Subtrópico, 2006. p. 19-30.

HARTMANN, H. T. et al. **Plant Propagation: principles and practices.** 7. ed. New York: Englewood Clippis, 2002. 880 p.

HEINRICH, I. et al. Hydroclimatic variation in Far North Queensland since 1860 inferred from tree rings. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 270, n. 1/2, p. 116–127, Dec. 2008.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. **Nutrição e adubação em minijardim clonal hidropônico de *Eucalyptus*.** Piracicaba: IPEF, 2002. 24 p. Circular Técnica, 194.

MAFIA, R. G. et al. Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 843-851, 2005.

MÍGUEZ, M. P.; GONZÁLEZ, G. M.; CARRIÓN, J. Á. P. Influencia de la forma de aplicación de paclobutrazol y la dosis sobre el crecimiento de plantas de alcornoque cultivadas em envase. **Cuadernos de la Sociedad Espanola de Ciencias Forestales**, Palencia, v. 17, p. 75-79, 2004.

MORETTI, B. S. et al. **Characterization of micronutrient deficiency in Australian Red Cedar (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*).** 2012. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/ijfr/2012/587094/ref/>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

MORETTI, B. S. et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 453-463, out./dez. 2011.

OPATRŇÁ, J.; NOVAK, P.; OPATRŇÝ, Z. Paclobutrazol stimulates bud regeneration in *Solanum tuberosum* L. primary explant cultures. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 39, n. 1, p. 151-158, 1997.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

RODRIGUES, L. C. A. et al. Taxa fotossintética de quatro clones de *Toona ciliata* expostos ao paclobutrazol. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 22., 2013, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2013. 1 CD ROM.

SANTOS, A. M. **Melhoramento genético do cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*)**. 2011. 64 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SILVA, M. P. S. et al. Enraizamento de miniestacas e produtividade de minicepas de cedro australiano manejadas em canaletões e tubetes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 703-713, out./dez. 2012.

SOUSA SILVA, C. M. M.; FAY, E. F. **Impacto ambiental do regulador de crescimento Paclobutrazol**. 2003. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/14522/1/documentos30.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2013.

SOUZA, D. S. et al. Micropropagação das bananeiras ‘prata-anã’ e ‘fhia 01’ a partir de explantes de plantas tratadas com paclobutrazol. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 561-570, jun. 2010.

SOUZA, J. C. A. V. et al. Propagação vegetativa de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, p. 205-213, 2009.

VIEIRA, E. L. et al. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luís: EDUFMA, 2010. 186 p.

WILKINSON, R. I.; RICHARDS, D. Influence of Paclobutrazol on Growth and flowering of *Rhododendron* ‘Sir Robert Peel’. **Hortscience**, Alexandria, v. 26, n. 3, p. 282-284, 1991.

XAVIER, A. et al. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 139-143, 2003.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: UFV, 2009. 272 p.