



MARA LÚCIA AGOSTINI VALLE

**ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE CLONES DE
Toona ciliata M. ROEMER VAR. *australis* PARA
BIOMECÂNICA DE ÁRVORES E QUALIDADE
DA MADEIRA**

LAVRAS – MG

2014

MARA LÚCIA AGOSTINI VALLE

**ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE CLONES DE *Toona ciliata* M.
ROEMER VAR. *australis* PARA BIOMECÂNICA DE ÁRVORES E
QUALIDADE DA MADEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima, para obtenção do título de Doutor.

Orientador

Sebastião Carlos da Silva Rosado

Coorientadores

Fábio Akira Mori

Paulo Ricardo Gherardi Hein

LAVRAS – MG

2014

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

Valle, Mara Lúcia Agostini.

Estratégias de seleção de clones de *Toona ciliata* M. Roemer
var. *australis* para biomecânica de árvores e qualidade da madeira /
Mara Lúcia Agostini Valle. – Lavras : UFLA, 2014.

71 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Bibliografia.

1. Cedro australiano. 2. Melhoramento florestal. 3. Estabilidade
mecânica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.1

MARA LÚCIA AGOSTINI VALLE

**ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO DE CLONES DE *Toona ciliata* M.
ROEMER VAR. *australis* PARA BIOMECÂNICA DE ÁRVORES E
QUALIDADE DA MADEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 15 de agosto de 2014.

Dr. Alisson Moura Santos	EMBRAPA
Dr. Paulo Fernando Trugilho	UFLA
Dr. Fábio Akira Mori	UFLA
Dr. Lucas Amaral de Melo	UFLA

Sebastião Carlos da Silva Rosado
Orientador

LAVRAS – MG

2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha mãe, por todo apoio dado nesta caminhada acadêmica, apoio moral, financeiro e maternal. Obrigada por acreditar e me incentivar!

Ao meu pai, que com o seu jeito peculiar, por me mostrar que o estudo e o conhecimento são os caminhos, inspirando-me a seguir por ele.

Aos meus irmãos Raul, exemplo de inteligência e paz; Marco, pela ajuda dada sempre que necessária; Eliana por me acalmar nos momentos de desespero, com certeza a única pessoa que conseguiu me aliviar nas várias horas de desespero, minha amiga, minha outra metade.

Ao meu marido, por todo companheirismo, amor e dedicação. Dando-me apoio e suporte sempre, em todas as horas. Obrigada por fazer parte da minha vida.

Aos meus filhos, Ian por renovar a alegria em minha vida, meu bebê, meu amor; Isabela por todos os momentos que passamos juntas! Merecedora deste trabalho, por sempre estar presente ao meu lado, me fazendo sorrir, me ajudando, sem em nenhum momento hesitar. Minha filha rica! Com certeza sou uma mãe milionária com os tesouros que Deus me presenteou.

A empresa Bela Vista Florestal pela doação do material, em especial ao Eduardo por participar em toda coleta do material.

À Universidade Federal de Lavras.

À CAPES.

À Ciência e Tecnologia da Madeira.

Ao Professor Sebastião Carlos da Silva Rosado, meu orientador, que me ajudou bastante no final desta longa caminhada que é o doutorado.

Ao Professor Paulo Trugilho que me deu uma “luz” quando cheguei a Lavras.

Ao Professor Fábio Akira por ter me acolhido em seu laboratório, me fazendo sentir parte de algum lugar na UFLA, muito obrigada.

Aos amigos encontrados, Alessandra, Lara, Tati Arruda, Cláudia Urbinati, Carol, Jonnys, Elias, Jeymi e Isabel. Só de ter conhecido essas pessoas e convivido com elas, digo que valeu a pena ter passado por aqui.

A todos que direta ou indiretamente passaram pela minha vida nesses quatro anos de UFLA.

Obrigada!

RESUMO

Com o objetivo de propor uma metodologia para seleção de clones para aumentar a estabilidade mecânica de árvores e melhorar a qualidade da madeira para processamento primário avaliou-se sete clones de *T. ciliata*, cultivados em plantio piloto e com três anos de idade. Foram avaliadas as tensões de crescimento na madeira de tração e normal dentro de uma amplitude de posição

angular de 0 a 270^o. Na análise dos dados constatou-se significantes efeitos da

interação de posição dentro de clone as quais foram submetidas às análises de adaptabilidade e estabilidade seguindo modelo de Eberhart e Russell (1966). Adaptações interpretativas desse modelo identificaram clones com diferentes valores de tensão de crescimento e capacidades de formação de madeira de tração, porém identificou-se divergências nos interesses ou “*trade-offs*” de melhoramento para adaptabilidade de árvores aos ambientes propícios à instabilidade mecânica de árvores e para a qualidade da madeira. Visando minimizar o referido “*trade-off*” estudou-se os mesmos clones com relação às suas relações alométricas: altura crítica de flambagem do fuste (H_{crit}), fator de segurança de flambagem do fuste (FS) e coeficiente de esbelteza (CE). Após as avaliações dos componentes quadráticos genotípico e coeficiente de determinação genotípico verificou-se a possibilidade de alcançar ganhos significativos para as referidas características. Para H_{crit} , FS e CE esses ganhos foram da ordem de 11,2, 15,7 e 12,2%, respectivamente, o aumento simultâneo de H_{crit} e do FS, bem como a redução do CE indicaram a possibilidade de melhorar a qualidade da madeira para fins industriais. Neste estudo, também, pode-se concluir que a adaptação do método de Eberhart e Russell (1966) é propício para seleção de clones adaptados aos ambientes favoráveis à flambagem do fuste e que as relações alométricas do fuste permitem estabelecer programas de melhoramento da qualidade da madeira juvenil. Adicionalmente o FS definido pela razão entre H_{crit} e altura total da árvore e o CE definido pela razão entre altura da árvore e DAP podem ser utilizados como indicadores da necessidade de condução de desbastes. Assim, o presente estudo propõe uma metodologia para a seleção de clones de *T. ciliata* para aumentar a estabilidade mecânica de árvores e para melhorar a qualidade da madeira para o processamento primário.

Palavras-chave: Cedro australiano. Melhoramento Florestal. Estabilidade mecânica.

ABSTRACT

With the objective to propose a methodology for clones selection to increase the mechanical stability of trees and improve wood quality for primary processing it was evaluated seven clones of *T. ciliata* grown in pilot plant and with three years old. It was evaluated the growth stresses in wood tensile and

normal within a range of angular position from 0 to 270°. In data analysis it was

found significant effects of the interaction position within clone which analyzes adaptability and stability following Eberhart and Russell (1966) model were submitted. Interpretive adaptations of this model identified clones with different values of growth and training capacities of wood tensile stress, but it was identified divergence in interests or "trade-offs" breeding for trees adaptability to environments conducive to mechanical instability of trees and for wood quality.

In order to minimize the aforementioned "trade-off" it was studied the same clones with respect to their relations allometric: critical buckling height of the stem (H_{crit}), safety buckling factor of the steam (SF) and slenderness coefficient (SC). After the evaluation of the quadratic components and genotypic coefficient of genotypic determination it was observed the possibility of achieving significant gains for these characteristics. To H_{crit} , SF and SC these gains were on the order 11.2, 15.7 and 12.2%, respectively, the simultaneous increase of H_{crit} and SF, as well as reducing the SC indicated the possibility of improving the wood quality for industrial purposes. In this study, also can conclude that Eberhart and Russell (1966) metod adaptation is favorable for clones selection adapted to favorable environments to the buckling of the steam and that steam allometric relation can establish programs to improve the quality of juvenile wood. Additionally SF defined by the ratio between H_{crit} and total tree height and SC defined by the ratio between the tree height and diameter at breast height (DBH) can be used as an indicator of the need to conduct thinning. Thus, this study proposes a methodology for the clones selection of *T. ciliata* to increase the mechanical stability of trees and to improve the wood quality for primary processing.

Keywords: Red cedar. Forestry improvement. Mechanical stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Árvores de <i>Eucalyptus</i> flambadas pela ação dos ventos.....	24
Figura 2 Representação das posições de amostragem para as medições das Deformações Residuais Longitudinais (DRL) periféricas no fuste e de obtenção de amostras (quadrantes), para avaliação da Densidade Básica (DB) da madeira.....	32
Figura 3 Sequência da medição da DRL na altura do peito, com a casca retirada (A), fixação dos pinos (B); perfuração entre os pinos com arco de pua (C); e do extensômetro com perfuração central com o arco de pua (D).....	33
Figura 4 Preparo do disco para avaliações da densidade básica da madeira por clone e posições angulares de amostragem na circunferência à altura do peito (0, 90, 180 e 270°).....	33
Figura 5 Esquema de tomada da flecha máxima de flambagem (F)	34
Figura 6 Índices ambientais (I_j) para os ajustes de modelos lineares (adaptados de Eberhart e Russell, 1966) utilizados na avaliação das tensões médias na madeira (A), bem como na avaliação da densidade básica (B).....	44
Figura 7 Relações entre as propriedades de tensão na madeira (A), de densidade básica (B) e os índices ambientais estimados por posição angular (0°, 90°, 180° e 270°) na circunferência à altura do peito.....	46
Figura 8 Relação entre H_{crit} e altura total (H_t) e expressões dos fatores de segurança (FS) de árvores de clones de <i>Toonaciliata</i> aos três anos de idade. Codificação dos clones (C_i) e respectivos valores de FS se encontram entre parênteses.....	56
Figura 9 Relação entre fator de segurança (FS) e coeficiente de esbelteza (CE) de clones de <i>Toonaciliata</i> com três anos de cultivo.	

Codificação dos clones (C_i) e respectivos valores de CE se encontram entre parênteses..... 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Clones e seus respectivos códigos	31
Tabela 2 Classificação de clones de <i>T. ciliata</i> quanto à sua capacidade de produção de madeira de tração e adaptabilidade mecânica de árvores aos estímulos do ambiente e suas previsibilidades de resposta à formação da madeira de tração adaptado de Eberhart e Russell (1966).....	37
Tabela 3 Classes de genótipos por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966) e os respectivos valores paramétricos.....	38
Tabela 4 Resumo da análise de variância das tensões de crescimento (TC) e das densidades básicas da madeira (DB) avaliadas à altura do peito e nas posições angulares (0°, 90°, 180° e 270°) da circunferência do fuste de sete clones de <i>Toonaciliata</i> de três anos de idade	42
Tabela 5 Modelos lineares ajustados para as estimativas das tensões ($T = \beta_{0i} + \beta_{1i} \cdot (I_j) + \mu_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$) em fustes de <i>Toonaciliata</i> aos três anos de idade. Para cada clone, β_{0i} estima a média da tensão de crescimento (TC), β_{1i} estima o coeficiente de regressão e $\beta_{1i} \cdot (I_j)$ estima a tensão na madeira de tração (TMT). Também são representados os valores médios da flecha de flambagem (f) por clone estudado	47
Tabela 6 Resumo da análise de variância para β_{0i} , β_{1i} , TMT e flecha de flambagem (F). Estimativas dos parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais, correlações fenotípicas (r_f), genotípicas (r_g) e ambientais (r_e) entre os valores de β_{0i} , β_{1i} e TMT e os valores de F. Estimativas de ganhos diretos e indiretos para uma intensidade de seleção de 1:7 clones de <i>Toonaciliata</i> com três anos de idade	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO GERAL	15
2.1	Objetivos específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	<i>Toonaciliata</i>	16
3.2	Melhoramento de espécies florestais	18
3.3	Alometria de árvores e estabilidade mecânica	20
3.4	Coefficiente de esbelteza, altura crítica de flambagem e fator de segurança	24
3.5	Tensão de crescimento	26
3.6	Madeira de reação	28
4	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1	Material biológico e local de experimentação	30
4.2	Delineamento experimental e coleta de dados	30
4.2.1	Tensões e densidade básica da madeira	30
4.2.2	Alometria do fuste: flecha máxima de flambagem do fuste (F), altura crítica de flambagem do fuste (Hcrit), fator de segurança de flambagem (FS) e coeficiente de esbelteza (CE)	34
4.3	Análise de dados	36
4.3.1	Tensões e densidade básica da madeira	36
4.3.2	Alometria do fuste	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2012 a produção primária florestal brasileira alcançou um montante total de R\$18,4 bilhões. Desse valor a silvicultura de florestas plantadas teve uma participação da ordem de 76,9% (R\$14,2 bilhões), enquanto que o extrativismo vegetal participou com apenas 23,1%, ou seja, R\$4,2 bilhões (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2012).

A série histórica das participações desses dois modelos na produção florestal indica uma evolução na melhoria da questão ambiental. A partir do ano de 1995 ocorreu uma importante mudança de cenário que evidenciou uma tendência de decréscimo no extrativismo e de acréscimo na silvicultura a qual se concretizou a partir de 2003.

Por outro lado, o avanço da silvicultura brasileira é fundamentado na cultura dos *Eucalyptus*, a qual desempenha um importante papel na redução do uso da madeira de espécies autóctones para produção de lenha e carvão.

Recentemente, muito se comenta sobre o emprego das espécies de *Eucalyptus* para substituir o uso da madeira serrada de toras extraídas de florestas naturais. Em longo prazo, isso pode se tornar uma realidade desde que as pesquisas sejam, também, voltadas para solucionar ou minimizar os problemas decorrentes da baixa qualidade da madeira para satisfazer o mencionado uso. É amplamente conhecido que as espécies de *Eucalyptus* quando cultivadas, possuem madeira com qualidade muito afetada pela alta proporção de madeira juvenil (CALOGENO; SEVERO, 2005; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; PONCE, 1995), possibilitando a formação de madeira de tração (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; VIDAURRE et al., 2013) e elevadas tensões de crescimento (CHAUHAN; WALKER, 2004; MALAN, 1995; VALENCIA et al., 2011; WASHUSEN; ILIC, 2001). Tais propriedades

não foram devidamente consideradas nos programas de melhoramento genético dos *Eucalyptus*, os quais foram conduzidos para fins energéticos ou de produção de celulose. Assis (2001), portanto, descreve que para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus*, com as propriedades demandadas pelas indústrias, seria necessária a combinação de híbridos interespecíficos para gerar indivíduos adaptados, produtivos e com tensões de crescimento minimizadas. Além disso, ele sugere o uso da propagação vegetativa, dentro do contexto de florestas clonais, como uma boa opção para gerar ganhos genéticos de maiores magnitudes.

Contudo, pode-se avaliar a viabilidade de disponibilizar esforços, tempo e recursos financeiros em estratégias de melhoramento genético da qualidade da madeira para uso sólido em espécies que são reconhecidamente produtoras de madeira de alta qualidade e que estão aptas para emprego na silvicultura clonal. Entre as espécies que se enquadram nesse perfil, destaca-se a *Toonaciliatavar.australis* (cedro australiano), pois é resistente à broca do cedro brasileiro e mogno, a *Hypsipylagrandella* (LUNZ et al., 2009), é adaptada e produtiva nas principais regiões brasileiras (PAIVA et al., 2007; RICKEN et al., 2011; SANTOS et al., 2013; SOUZA et al., 2009), além de produzir madeira de alta qualidade para geração de produtos de fino acabamento.

Por se tratar de condições de monocultivos de espécie de crescimento rápido e, conseqüente, com precocidade de corte comercial que é estimado em 12 anos (RICKEN et al., 2011), há o inconveniente de se produzir uma maior proporção de lenho juvenil. Segundo Maeglin (1987), além do melhoramento genético, os defeitos decorrentes dessa madeira juvenil podem ser minimizados pelo uso de boas práticas silviculturais e de manejo.

Os recentes trabalhos no contexto silvicultural, associados à alometria de árvores, têm indicado que o melhoramento da qualidade do crescimento primário e secundário do fuste, bem como de suas relações, podem minimizar os

defeitos intrínsecos à madeira juvenil pelo aumento da resistência da árvore contra as forças do vento, gravidade, própria massa ou de outros fatores do meio que as tornam flexionadas e, portanto, com maior taxa de produção de madeira de tração (ZUBIZARRETA-GERENDIAIN et al., 2012).

Os estudos da qualidade da madeira em árvores reflorestadas são poucos e ainda não fornecem os subsídios necessários para o seu melhoramento, quando se considera a idade cambial. É amplamente divulgado na literatura que as diferenças nas qualidades da madeira juvenil e adulta devem ser conhecidas, principalmente, quando se trata da formação de lenho de reação que, dentre várias causas, também decorre das altas taxas de crescimento e da redução da idade de rotação (BARNETT; JERONIMIDIS, 2003; TAYLOR; FRANKLIN, 2011).

O alcance de ganhos genéticos na madeira pela seleção de árvores jovens é bastante controverso. Apiolaza, Chauhan e Walker (2001) descrevem a obtenção de ganhos pela seleção precoce em *Pinus radiata*, contrapondo ao que é mencionado por Lenz et al. (2010) quando referem que o aumento da idade cambial modifica fortemente a magnitude dos ganhos desejáveis para várias propriedades da madeira.

Entretanto, existem indicações de que fustes com relações alométricas apropriadas, principalmente as que indicam a altura crítica de flambagem e de esbelteza da árvore, produzem madeira de boa qualidade pela redução da proporção de madeira de reação em relação à madeira normal (ZUBIZARRETA-GERENDIAIN et al., 2012), redução das tensões de crescimento (WAGHORN; WATT, 2013; WATT et al., 2006), bem como nas qualidades de tora e rendimento na operação de desdobro (MAEGLIN, 1987; VALENCIA et al., 2011).

Assim, pode-se conjecturar que em idades jovens os estudos sobre as referidas relações poderão permitir a seleção precoce de materiais genéticos possuidores de madeira de qualidade superior.

2 OBJETIVO GERAL

Propor uma metodologia pela adaptação da metodologia de Eberhart e Russell (1966), para seleção de clones de *Toonaciliata* para melhorar a biomecânica de árvores e qualidade da madeira.

2.1 Objetivos específicos

1. Avaliar as variações na densidade básica da madeira e nas tensões na madeira em função das posições angulares da circunferência à altura do peito.
2. Avaliar as estabilidades e adaptabilidade de clones na formação da madeira de tração.
3. Estimar os parâmetros genéticos para tensões na madeira.
4. Estimar as alturas críticas de flambagem, fatores de segurança de flambagem e os coeficientes de esbelteza das árvores de clones de *Toonaciliata*.
5. Estimar os parâmetros genéticos para altura crítica de flambagem, fator de segurança de flambagem e coeficiente de esbelteza.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *Toonaciliata*

A *Toonaciliata* destaca-se no setor de madeira serrada pelo seu ciclo relativamente curto (12 anos de idade), boa produtividade de madeira, valor da madeira no mercado interno e externo (CEDRO..., 2008) e potencial produtivo, quando comparada às espécies nativas exploradas para serraria, como, por exemplo, peroba, jatobá, entre outros.

A ocorrência natural da *Toonaciliata* é abrangente, ocorrendo na Austrália e Sudeste Asiático (EDMONDS, 1993). Pertence à família botânica Meliaceae e subfamília Swietenioideae, que possuem as espécies de madeiras mais valiosas do mundo (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005), como o mogno e o cedro. É conhecida vulgarmente por cedro australiano por se assemelhar aos cedros brasileiros (*Cedrelasp*), sendo que devido a isso, durante muitos anos, essas espécies pertenceram ao mesmo gênero (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005).

Segundo relatos, o primeiro registro da introdução da espécie no Brasil é da empresa Aracruz Celulose (ES) em 1973, momento em que vários lotes de sementes de diferentes espécies vegetais foram importados do Timor Leste e Austrália e introduzidos no país. A empresa realizou pequenos plantios em suas áreas formando um banco de germoplasma das espécies de interesse, sendo um desses constituído pelo cedro australiano, do qual se originaram as demais populações implantadas no país (SOUZA; BARROSO; CARNEIRO, 2010).

A busca por madeira de qualidade incentivou os produtores a investigar espécies compatíveis com a exigência de mercado. Nesse contexto a *Toonaciliata* vem se enquadrando de forma satisfatória com base nos estudos realizados até o momento. Dessa forma, o cedro australiano vem ganhando

espaço no setor de madeira serrada, destacando-se em países como Brasil, Argentina, Porto Rico, Honduras e outros (BUFALINO et al., 2012).

No Brasil, os plantios de *Toonaciliata* estão concentrados no sul da Bahia e na região sudeste, com destaque para os estados do Espírito Santo e Minas Gerais (SOUZA, 2007). A espécie encontrou condições favoráveis para o seu desenvolvimento vegetativo no Brasil (SOUZA et al., 2009). Além disso, a espécie não é suscetível ao ataque da *Hypsipylagrandella* (LUNZ et al., 2009; MANGIALAVORI et al., 2003), praga florestal que ataca o cedro e o mogno e sua madeira é pouco susceptível ao ataque de cupim-de-madeira seca (*Cryptotermesbrevis*) (CUNNINGHAM et al., 2005). Pelos fatores citados, além de outros, o plantio de *Toonaciliata* no país tem se expandido.

A madeira da *Toonaciliata* possui cerne marrom-avermelhado, alborno de coloração clara e as tábuas originadas têm um forte cheiro aromático agradável depois de serrada, devido à presença de óleos voláteis, tornando-a resistente ao ataque de térmitas. É muito valorizada pela sua grã, cor e durabilidade natural, apresenta densidade média de 0,450 g/cm³ quando adulta (30-40 anos) (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005), sendo considerada uma espécie que possui madeira leve.

Por ser uma espécie leve, é facilmente serrada e seca desde que se tenha o empilhamento adequado (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005). Em relação à retratibilidade Braz et al. (2013) e Ziech (2008) encontraram valores baixos de contração radial e tangencial, valores em torno de 3% e 8% respectivamente.

Gonçalves (2009) estudando a espécie entre dois e cinco anos de idade concluiu que a madeira da *Toona* não apresenta tantos defeitos quanto à qualidade, em comparação ao *Eucalyptus*, por possuir valores médios de DRLs (0,056 mm) inferior aos encontrados para o gênero *Eucalyptus* (0,090 mm).

O cedro australiano apresenta toras com pouca conicidade (NASSUR et al., 2013), o que é ideal quando se deseja madeira para serraria. O defeito mais

expressivo que os autores encontraram em seu estudo para as toras do cedro foram os nós, estes podendo ser facilmente minimizados com práticas silviculturais adequadas, como por exemplo, a desrama.

A madeira do cedro australiano é utilizada na fabricação de móveis finos, produção de compensados, marcenaria, portas, janelas e produtos decorativos, além de possuir uso na indústria de cosméticos, perfumaria e medicamentos (SORAGI, 2009).

Müller et al. (2004) constataram a potencialidade da *Toonaciliata* no que se refere ao seu refinado aspecto visual e a grande facilidade em ser trabalhada. No referido estudo foram produzidos móveis com madeira de desbaste, com cinco anos de idade.

Além das qualidades mencionadas, a composição de chapas cimento-madeira, com a espécie de *Toonaciliata* como matéria-prima se mostrou satisfatória, sendo também uma opção para as madeiras de desbaste da espécie (SÁ et al., 2010).

A *Toonaciliata* possui superfícies usinadas de boa qualidade, sendo apta para confecção de produtos sólidos (SORAGI, 2009) e deve ser preferencialmente utilizada para fins mais nobres, por ser considerada de alta qualidade (SÁ et al., 2010).

3.2 Melhoramento de espécies florestais

O melhoramento genético é a ciência utilizada em plantas e animais para a obtenção de indivíduos ou populações com características desejáveis ao ser humano. O melhoramento florestal é indispensável para se obter um aumento necessário em produtividade no setor florestal (GOLLE et al., 2009).

No setor florestal essa ferramenta teve expansão no Brasil a partir de 1967, com a implantação da lei dos incentivos fiscais ao reflorestamento

(FERREIRA, 1983). A seleção de árvores num programa de melhoramento florestal no Brasil foi baseada durante muito tempo em valores fenotípicos das características de crescimento e adaptação das espécies nas condições edafoclimáticas, tendo, porém, maior foco na produção volumétrica (TRUGILHO, 1995).

O melhoramento florestal tem desempenhado papel importante no aumento da competitividade do setor de base florestal brasileiro, sobretudo por seus reflexos positivos no aumento da adaptação, da produtividade e da qualidade da madeira (ASSIS; REZENDE, 2011). Entretanto, o melhoramento florestal baseado apenas no incremento volumétrico não garante a qualidade da madeira para usos específicos. O avanço dessa ferramenta no Brasil possibilitará o desenvolvimento de materiais mais específicos, tendo ganhado na qualidade e redução de custos inerentes à utilização da matéria-prima (XAVIER; SILVA, 2010).

Sendo assim, a utilização do melhoramento para buscar obter madeira de qualidade vem sendo aplicada, a fim de se produzir matéria-prima com qualidade adequada aos processos e aos produtos (ASSIS, 2001). Nesse contexto a *Toonaciliata*, espécie exótica, tem se expandido no setor florestal brasileiro por inúmeros fatores, principalmente pela excelente qualidade de sua madeira, (NASSUR et al., 2013; SOUZA; BARROSO; CARNEIRO, 2010) e alta produtividade (ARES; FOWNES, 2000), apresentando grande potencial socioeconômico para o setor florestal brasileiro.

Por essas razões, iniciativas de desenvolvimento da espécie vêm sendo conduzidas. Entre os trabalhos destaca-se o programa de melhoramento genético para a espécie, de onde os materiais genéticos já selecionados estão sendo multiplicados assexuadamente 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, do que são

selecionados indivíduos superiores com a seleção e clonagem (FERREIRA et al., 2012; SANTOS,2011).

Por sua disseminação se dar, principalmente, por sementes, que têm como característica a rápida perda do poder germinativo quando conservadas em temperatura ambiente (SCOCCHI et al., 2004), além de haver grande variabilidade no material genético introduzido no Brasil, resultando em forte irregularidade dos povoamentos, a propagação vegetativa de cedro australiano é uma alternativa para contornar esses problemas (FERREIRA et al., 2012).

As principais empresas florestais brasileiras vêm usando amplamente a propagação vegetativa por miniestaquia para a produção comercial de mudas, o que consiste na utilização de brotações novas, coletadas em mudas propagadas vegetativamente e conduzidas em minijardim clonal (TEIXEIRA, 2001).

Com a propagação vegetativa, deseja-se solucionar os problemas inerentes à multiplicação seminal do cedro-australiano, garantir a produção durante todo ano e permitir rápida seleção e multiplicação de indivíduos superiores, tornando os plantios mais produtivos e uniformes (SOUZA et al., 2009).

Como o cedro australiano é uma espécie que vem sendo plantada com o intuito de obter madeira para serraria, é importante a escolha de genótipos que sejam mais tolerantes à flambagem, para que dessa forma se evite a quebra da árvore, ou a inviabilize para utilizações mais nobres, já que isso acarretaria em grande perda econômica.

3.3 Alometria de árvores e estabilidade mecânica

A planta é um ser vivo que contém uma estrutura organizada, na qual o seu padrão de desenvolvimento confere estrutura característica. Para que a

árvore se mantenha em pé, ela deve conseguir suportar o seu próprio peso e as forças das adversidades do meio.

O tronco é a parte responsável pelo suporte mecânico das árvores, é um tecido complexo formado por elementos condutores, células parenquimáticas e fibras, além de outros tipos celulares.

O xilema secundário, madeira propriamente dita, tem sua organização diferenciada entre angiospermas e gimnospermas, sendo que nas angiospermas o tecido de sustentação são as fibras libriformes e fibrotraqueídes (denominadas fibras de um modo geral) e nas gimnospermas são os traqueídes.

As fibras têm sua origem nas células iniciais fusiformes do câmbio, são células de sustentação, responsáveis pela rigidez ou flexibilidade da madeira. Possuem forma alongada e extremidades afiladas com maior dimensão no sentido do eixo longitudinal do tronco da árvore (ASPPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLHO-GUERREIRO, 2006).

O ambiente influencia a constituição anatômica das árvores (ESTEBAN et al., 2003) e nas propriedades da madeira (FERREIRA et al., 2010). Os ventos e tempestades (MELO, 2004), temperaturas extremas e raios (ESTEBAN et al., 2003) são um dos principais fatores de modificação da composição anatômica das árvores, influenciando na tamanho e quantidade das células presentes na madeira.

Assim como o ambiente influencia na constituição anatômica, a temperatura do ar, velocidade dos ventos e a radiação incidente também formam um conjunto de fatores que se encarregam de modificar a morfologia da árvore (ASPPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLHO-GUERREIRO, 2006).

As dimensões e os arranjos celulares das fibras estão diretamente relacionados com o comportamento físico e mecânico da madeira (FERREIRA et al., 2010), que se relacionam com a habilidade da árvore se manter em pé e de forma ereta.

O comportamento mecânico da árvore frente às ações meteorológicas depende, entre outros fatores, das propriedades de sua madeira, sendo que árvores mais densas, flexíveis e resistentes mecanicamente serão mais tolerantes aos danos causados por essas ações, uma vez que quanto mais elástico for o material, porém com elevada resistência, maiores deformações, poderá sofrer sem chegar ao colapso (MELO, 2004).

As tempestades são importantes para explicar a quebra de árvores que ocorrem nas florestas, causando grandes prejuízos para os produtores de madeira localizados nas regiões afetadas (MELO, 2004). Ventos intensos e contínuos resultam em danos mecânicos, anatômicos e fisiológicos, pois causam a deformação das plantas, desfolha, entre outros (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

A árvore deve ser resistente o suficiente para suportar a flexão e evitar a flambagem e quebra quando sujeita a grandes forças mecânicas aplicadas externamente (NIKLAS, 1993). Dessa forma o módulo de elasticidade, propriedade também conhecida como rigidez, e a densidade, são propriedades mecânicas e físicas importantes (WAGHORN; WATT, 2013) para explicar a flambagem da árvore.

Outro fator associado à manutenção das árvores em pé, ou seja, que a árvore não flambe ou quebre é a tensão de crescimento das espécies, sendo que maiores tensões resultam em árvores com menor propensão à quebra ou tombamento, garantindo resistência à ruptura mecânica e à flexão no tronco, gerando resistência contra a incidência de ventos (LIMA et al., 2004), além de também se levar em consideração a porcentagem do cerne presente nas árvores.

Melo (2004), estudando clones de *Eucalyptus*, observou que as árvores com maior tolerância à ação de tempestades e ventos, produziram fibras mais longas, mais finas e com lumes mais estreitos, assim como maiores índices de

tensões de crescimento, sendo estas mais resistentes quanto à quebra ou à flambagem.

Os tipos de danos mais frequentemente causados pelas ações externas às árvores são a flambagem, tombamentos, quebra e arranchamento das árvores (MELO, 2004). O conhecimento das relações entre as propriedades da madeira e a força necessária para provocar a ruptura das árvores pode contribuir para explicar os fatores envolvidos na quebra das mesmas quando sujeitas à ação de ventos e tempestades (FERREIRA et al., 2010).

As fortes correntes de ar causam a flambagem das árvores, podendo chegar a quebrá-las (CASTRO, 2003). Esse fenômeno pode ser influenciado pelas características das árvores, solo, topografia, plantio e condições meteorológicas, geralmente ocorrendo em madeiras mais jovens, quando ainda estão em processo de formação e suas características não foram estabelecidas.

Muito se tem anunciado sobre as mudanças climáticas sofridas no país e no mundo. Nas últimas décadas tem se presenciado um aumento considerável não só na frequência e intensidade, mas também nos danos e prejuízos causados pelos desastres naturais (MARCELINO, 2007).

Os ventos fortes são os principais causadores da flambagem e quebra das árvores. Esses ventos fortes causam prejuízos na qualidade da madeira pela flambagem do tronco quando essa ocorre de modo permanente, afetando a qualidade da madeira, isso é bem visível em plantios de *Eucalyptus*, como ilustrado na Figura 1.



Figura 1 Árvores de *Eucalyptus* flambadas pela ação dos ventos

Fonte: Possato (2014)

Madeiras com alta tolerância a tombamento e quebras devem ser estudadas a fim de avaliar o seu comportamento e selecioná-las em programas de melhoramento, com o intuito de solucionar ou, ao menos, minimizar as características que estão relacionadas com esses fatores.

3.4 Coeficiente de esbelteza, altura crítica de flambagem e fator de segurança

As árvores podem ser divididas, para estudos, em três partes principais: copa, tronco e raiz. A copa é a responsável pelo processo de fotossíntese, processo vital para que a árvore se estabeleça. Sendo assim, a superfície,

diâmetro e comprimento da copa, estão diretamente relacionados com o crescimento e a produção de uma árvore (TONINI; ARCO-VERDE, 2005).

O tronco é a parte de sustentação da copa, sendo a de maior interesse econômico, pois é dela que se obtém a madeira, matéria-prima utilizada para os mais diversos fins. É de interesse que se tenha um tronco mais reto e de maior diâmetro para que haja melhor aproveitamento industrial da madeira. Segundo Mattos (2003), características como a forma dos troncos, a altura do fuste livre de galhos e as bifurcações determinam o valor das árvores. Copas simétricas possuem maiores tendências de árvores com fustes compridos e retos (SILVA, 2007).

Quando há competição entre as árvores, essas tendem a crescer em altura à procura de luz, deixando o crescimento em diâmetro do tronco em segundo plano. As árvores assim, se tornam mais altas e mais finas podendo ser prejudicadas pelas ações de intempéries.

O Coeficiente de Esbelteza é a relação entre a altura total da árvore em metros e o seu diâmetro à altura do peito (DAP) em centímetros. É uma variável que caracteriza a estabilidade das árvores, quanto maior o grau de esbelteza, mais instável é a árvore (ROMAN; BRESSAN; DURLO, 2009), ou seja, maior o risco dela sofrer danos causados pelas intempéries, como por exemplo, as ações do vento.

Alta competição entre as árvores pode aumentar o seu grau de esbelteza da árvore (ROMAN; BRESSAN; DURLO, 2009). Quando o grau de esbelteza é superior a um indica que o crescimento em diâmetro do tronco é menor em relação ao crescimento em altura (TONINI; ARCO-VERDE, 2005). À medida que as árvores engrossam, o grau de esbelteza diminui, evidenciando que, proporcionalmente, há maior aumento de diâmetro do tronco que de altura. As árvores tendem a tornarem-se mais estáveis (ROMAN; BRESSAN; DURLO, 2009) com o menor valor do grau de esbelteza.

A altura crítica de flambagem é a altura máxima que uma árvore pode chegar antes de sofrer a flambagem ou encurvamento, podendo levar até mesmo a ruptura da mesma. A altura total de uma árvore sempre será inferior a altura crítica (NIKLAS, 1997), uma vez que, se assim não fosse, ela sempre seria encurvada ou se quebraria.

O índice de segurança de flambagem ou fator de segurança é o quociente da altura crítica de flambagem do fuste pela altura total da árvore (WAGHORN; WATT, 2013). O resultado dessa equação deve estar acima de um para que a árvore esteja segura (NIKLAS, 1997), ou seja, tenha menor chance de flambar.

3.5 Tensão de crescimento

Tensão de crescimento é o resultado da ação de forças internas que atuam sobre os tecidos das árvores, de forma a mantê-las íntegras e eretas (LIMA et al., 2004). Dinwoodie (1966) define as tensões de crescimento como forças que se desenvolvem no interior do tronco de árvores vivas e, segundo Jacobs (1945) são características intrínsecas ao crescimento natural das árvores.

As tensões estão presentes em todos os troncos das árvores, tanto em coníferas quanto em folhosas, e são distribuídas de forma mais ou menos uniforme (BAMBER, 2001), porém, seu impacto é bem maior em folhosas do que em coníferas (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

Essas tensões têm origem na camada cambial do tronco das árvores e são geradas devido às deposições consecutivas das novas camadas de células a partir do câmbio, durante o desenvolvimento da planta. A tendência dessas novas células é a expansão lateral enquanto que, ao mesmo tempo, se contraem no sentido longitudinal. A adição de novas camadas de células ao tronco causa estado de tensão externa (tração). Tais tensões são distribuídas pelo tronco da

árvore de forma acumulativa, isso devido à sucessiva deposição de camadas (CARVALHO et al., 2010).

As fibras, logo após a divisão celular, possuem uma contração longitudinal pequena, as tensões nas partes mais externas dos fustes fazem o papel da armação de ferro nas colunas de concreto, sendo fundamentais para que os fustes das árvores não se quebrem facilmente quando submetidas a esforços laterais, como os ventos (LIMA et al., 2004).

São sugeridas duas teorias para origem das tensões de crescimento nas árvores: a primeira é a hipótese de que a lignina presente entre as moléculas de celulose se expande, gerando contrações longitudinais e a consequente formação de tensões de crescimento (BOYD, 1985); a segunda hipótese aponta a cristalização das moléculas de celulose como geradores de contrações que virão a desenvolver as tensões de crescimento (BAMBER, 2001).

As tensões de crescimento podem ocorrer nas direções longitudinal, radial e tangencial (GONÇALVES, 2009), sendo que as tensões longitudinais são mais severas e variam mais (WIKINS, 1986).

O efeito da tensão de crescimento aparece imediatamente após o abate da árvore, podendo causar perdas significativas no rendimento durante o desdobro principal, além de causar defeitos (TRUGILHO; OLIVEIRA, 2008).

Os defeitos associados às tensões de crescimento são as rachaduras de topo nas toras (LIMA et al., 2004; LIMA; GARCIA; PIEDADE, 2002), distorções das peças produzidas durante o desdobro (BIECHELE; NUTTO; BECKER, 2009; LIMA et al., 2004), instabilidade dimensional (BIECHELE; NUTTO; BECKER, 2009), rachaduras e empenamentos nas tábuas (CARDOSO JUNIOR et al., 2005).

Com a expectativa de avaliar a relação da tensão de crescimento com a ocorrência de defeitos na madeira sólida, na tentativa de amenizar o seu efeito,

têm-se buscado estudá-lo, para que assim haja melhoria na qualidade do produto e agregação de valor (TRUGILHO et al., 2002).

3.6 Madeira de reação

A madeira de reação surge nas árvores para mantê-las na posição vertical em resposta a algum estímulo gravitacional (DU; YAMAMOTO, 2007) e/ou natural, ou seja, quando a árvore está sujeita a algum tipo de estresse mecânico, forma-se o lenho de reação que auxilia a planta a voltar à posição ereta (VIDAURRE et al., 2013). Além desses fatores externos a ocorrência de copa assimétrica na árvore a massa dos galhos tendem a provocar a formação do lenho de reação (MONTEIRO et al., 2010).

Nas folhosas, a madeira de reação é chamada de madeira de tração e é formada do lado de cima do caule inclinado, enquanto que nas coníferas, estas são chamadas de madeira de compressão e é formada o lado de baixo do caule inclinado (DU; YAMAMOTO, 2007).

Bamber (2001) sugere que o efeito de retorno da árvore para a posição ereta se manifesta de forma distinta entre as folhosas e coníferas. O autor relata que nas angiospermas a madeira de tração desenvolve uma tensão contrátil que serve para puxar a madeira para a posição vertical, enquanto que nas gimnospermas a madeira de compressão desenvolve uma força de resistência à compressão que serve para empurrar o caule para a posição vertical.

A ocorrência do lenho de reação é mais susceptível em algumas espécies do que em outras e as propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas desse lenho diferem do lenho normal (GREEN; WINANDY; KRETSCHMANN, 1999).

A presença de tecidos de reação, por menor que seja sua quantidade, causa mudanças significativas nas propriedades da madeira e,

consequentemente, na qualidade desta, o que de fato fundamenta a classificação da madeira de reação como um defeito (VIDAURRE et al., 2013).

A madeira sofre alterações no comportamento com a presença do lenho de reação. Em madeiras sólidas ocorre aumento da contração longitudinal, radial e tangencial, durante o processo de secagem (BOYD, 1977) a contração excessiva do lenho de tração está associada ao colapso na maioria das espécies (PANSIN; DE ZEEUW, 1980). Tábuas contendo madeiras de reação podem se distorcer durante o desdobro e secagem, tendo como resultado a depreciação da madeira (BAMBER, 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material biológico e local de experimentação

Neste estudo foram avaliados sete clones de *Toonaciliata* (cedro australiano) obtidos após a seleção individual conduzida em testes genéticos de origem/progênie/plantas. Esses clones, relacionados na Tabela 1, foram selecionados em teste de origem/progênie/indivíduo, sendo as origens localizadas em uma amplitude latitudinal sul, variáveis entre 12°33' (Kangaroo Valley) e 34°38' (Pascoe River). Estão cultivados em um espaçamento 3,0 x 3,0 m, em escala piloto para as avaliações de comportamento silviculturais, de manejo, qualidade do fuste e da madeira. Esse cultivo, com três anos de idade, se localiza no município de Campo Belo, sul de Minas Gerais, com coordenadas geográficas: latitude 20° 53' 49" S e longitude 45° 16' 37" W. A altitude média é de 945 metros e a precipitação pluviométrica média anual é de 1250 mm e temperatura média anual de 23,5°C. O tipo de solo é latossolo vermelho escuro.

4.2 Delineamento experimental e coleta de dados

O delineamento experimental foi distinto para os tratamentos e serão descritos separadamente.

4.2.1 Tensões e densidade básica da madeira

Utilizou-se um experimento em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo que cada árvore (aos três anos de idade) foi considerada uma repetição e 28 tratamentos constituídos a partir de um fatorial simples, com dois fatores. O primeiro foi constituído pelos sete clones: C1, C2,

C3, C4, C5, C6 E C7 (Tabela 1) e o segundo por quatro posições angulares na circunferência do fuste à altura do peito. Essas posições foram: 0°, 90°, 180° e 270°, medida no sentido horário, sendo que as posições de 0° e 180°, pressupostamente e respectivamente, referiram-se às posições angulares, onde se encontra o lenho de reação e o lenho oposto conforme sugere Brereton et al. (2012) e está ilustrado na Figura 2. As árvores avaliadas se localizavam fora da bordadura da parcela e onde as suas vizinhas próximas estavam vivas e, visualmente, se encontravam em igualdade de competição por luz.

Nesses clones, as tensões na madeira foram indiretamente avaliadas pela Deformação Residual Longitudinal (DRL), como é proposto por Clair, Ruelle e Thibaut (2003), Dassot et al. (2012), Lima et al. (2004) e Jullien et al. (2013). Para a obtenção dos dados de DRL utilizou-se o extensômetro referido pelo método CIRAD-Forêt, sendo obtidos em árvores vivas e à altura do peito como está ilustrado nas Figuras 2 e 3.

Na Figura 2, também, está indicada a obtenção dos corpos de prova para as avaliações da densidade básica da madeira dos sete clones e nas referidas posições angulares.

Tabela 1 Clones e seus respectivos códigos

Clone	Código	Clone	Código
BV 1321	C1	BV 1120	C5
BV 1310	C2	BV 1110	C6
BV 1210	C3	BV 1121	C7
HG	C4		

Para a determinação da densidade básica da madeira, por árvore ou repetição foi retirado à altura do peito, um disco de cinco centímetros de espessura na cessa transversal do fuste. Os discos foram separados em quatro partes (quadrantes), sendo que cada uma representou o local onde foram tomadas as leituras da DRL, conforme está representado nas Figuras 2 e 4. A

densidade básica foi avaliada pela norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997).

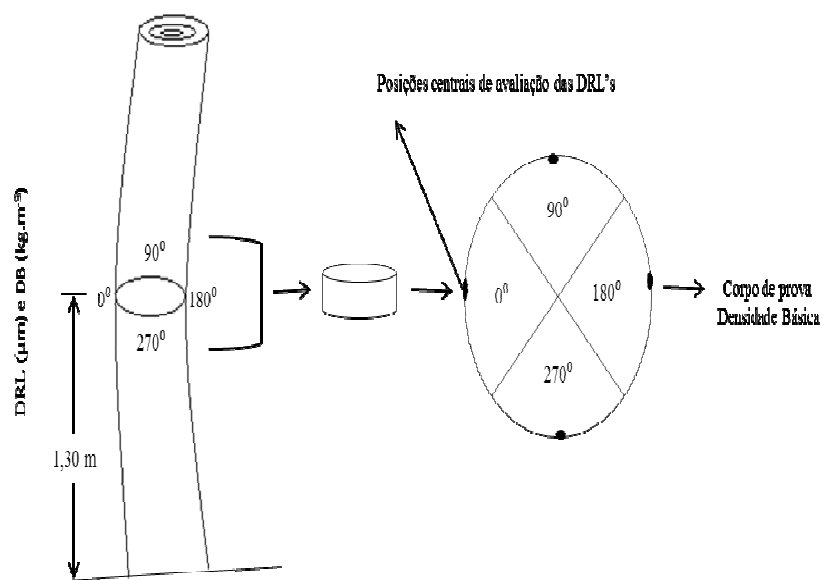


Figura 2 Representação das posições de amostragem para as medições das Deformações Residuais Longitudinais (DRL) periféricas no fuste e de obtenção de amostras (quadrantes), para avaliação da Densidade Básica (DB) da madeira



Figura 3 Sequência da medição da DRL na altura do peito, com a casca retirada (A), fixação dos pinos (B); perfuração entre os pinos com arco de pua (C); e do extensômetro com perfuração central com o arco de pua (D)



Figura 4 Preparo do disco para avaliações da densidade básica da madeira por clone e posições angulares de amostragem na circunferência à altura do peito (0, 90, 180 e 270°)

4.2.2 Alometria do fuste: flecha máxima de flambagem do fuste (F), altura crítica de flambagem do fuste (H_{crit}), fator de segurança de flambagem (FS) e coeficiente de esbelteza (CE)

Utilizou-se um experimento em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições (árvores) e sete tratamentos constituídos pelos sete clones codificados na Tabela 1.

A flecha máxima de flambagem (F) foi medida em cada árvore após o seu abate por meio do tensionamento de um fio de nylon para alinhar a base com o topo do fuste. A flecha máxima de flambagem (F) foi medida com o auxílio de uma régua graduada no ponto onde a flambagem foi máxima, conforme Figura 5.



Figura 5 Esquema de tomada da flecha máxima de flambagem (F)

A altura crítica de flambagem (H_{crit}) foi estimada pela fórmula de Euler, descrita em Niklas (1997), conforme equação 1.

$$H_{crit} = C \left(\frac{MOE}{DB} \right)^{1/3} D^{2/3} \quad (1)$$

Em que:

H_{crit} = altura crítica de flambagem do fuste (m).

C= constante de proporcionalidade cuja amplitude varia de 0,79 a 1,97, dependendo da distribuição de carga ao longo do fuste (NIKLAS, 1997). Nesse trabalho foi assumido o valor de 0,79, o que reflete um cenário mais conservador dentro da referida amplitude.

MOE = módulo de elasticidade (MPa).

DB = densidade básica (Kg.m^{-3}).

D = DAP (cm).

A estimativa do MOE foi determinada por meio da equação 2 (FOURNIER et al., 2013).

$$MOE = 10400 \left(\frac{Db}{530} \right)^{1.02} \quad (2)$$

Em que:

MOE = Módulo de Elasticidade (MPa).

DB = Densidade Básica (kg.m^{-3}).

A equação 2 foi previamente validada pela sua aplicação em dados da literatura que relatam valores observados de DB e MOE. Pelo teste de Qui Quadrado (χ^2) os valores de MOE observados foram comparados com os valores de MOE estimados pela equação 2.

O fator de segurança de flambagem (FS) foi estimado pela relação entre altura crítica de flambagem (H_{crit}) e altura total da árvore (WAGHORN; WATT, 2013).

O coeficiente de esbelteza foi determinado pela relação entre altura da árvore em metros e o DAP em centímetros.

4.3 Análise de dados

A análise dos dados foi feita de forma distinta e será descrita separadamente.

4.3.1 Tensões e densidade básica da madeira

Para as análises dos dados de tensão e de densidade básica da madeira utilizou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + P_j + (PC)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (3)$$

em que:

Y_{ijk} = é o efeito do i -ésimo clone, j -ésima posição angular; k -ésima repetição;

μ = é uma constante (média geral);

C_i = é o efeito do i -ésimo clone (fixo);

P_j = é o efeito da j -ésima posição (fixo);

$(PC)_{ij}$ = é o efeito da interação de P_j por C_i (fixo); e

ϵ_{ijk} = é o componente do erro aleatório.

$i=1,2,\dots,c$; $j=1,2,\dots,p$; $k=1,2,\dots,r$. Em que c , p , e r são, respectivamente, os números de clones de *T. ciliata*, posições angulares na circunferência à altura do peito e repetições (árvores). Se a interação for significativa será feito o seu desdobramento e avaliação do efeito da posição (P) dentro de clone (C).

Para o estudo de tensão na madeira, quando os efeitos foram significativos da interação de P_j dentro de C_i foram avaliados pelas análises de adaptabilidade e previsibilidade, utilizando o modelo de Eberhart e Russell (1966) que foi modificado para analisar e interpretar as tensões nos fustes de clones de *T. ciliata*, em locais que induzem a estresses mecânicos e que supostamente promovem a formação de madeira de tração ou madeira normal, representados pelas posições angulares (0° , 90° , 180° e 270°) na circunferência à

altura do peito, conforme a Tabela 2.

O método de Eberhart e Russell (1966) se utiliza de seis classes distintas de avaliação que pode ser visualizada na Tabela 3, sendo testado o β_{1i} igual, maior ou menor que um. Neste estudo o β_{1i} foi testado como igual ou diferente de zero.

Tabela 2 Classificação de clones de *T. ciliata* quanto à sua capacidade de produção de madeira de tração e adaptabilidade mecânica de árvores aos estímulos do ambiente e suas previsibilidades de resposta à formação da madeira de tração adaptado de Eberhart e Russell (1966)

Classificação de clones de <i>Toonaciliata</i>	Valores paramétricos
Produz madeira com baixas tensões, baixa adaptabilidade aos estímulos do ambiente que promovem a flambagem de fustes e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} = 0$ e $\delta_{ij} > 0$
Produz madeira com altas tensões, alta adaptabilidade aos estímulos do ambiente que promovem a flambagem de fustes e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} \neq 0$ e $\delta_{ij} > 0$
Produz madeira com baixas tensões, baixa adaptabilidade aos estímulos do ambiente que promovem a flambagem de fustes e	$\beta_{1i} = 0$ e $\delta_{ij} = 0$

previsibilidade alta	
Produz madeira com altas tensões, alta adaptabilidade aos estímulos do ambiente que promovem a flambagem de fustes e previsibilidade alta	$\beta_{1i} \neq 0$ e $\delta_{ij} = 0$

Tabela 3 Classes de genótipos por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966) e os respectivos valores paramétricos

Classes Classificação prática	Valores paramétricos
Adaptabilidade geral e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} = 1$ e $\delta_{ij} > 0$
Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} > 1$ e $\delta_{ij} > 0$
Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} < 1$ e $\delta_{ij} > 0$
Adaptabilidade geral e previsibilidade alta	$\beta_{1i} = 1$ e $\delta_{ij} = 0$
Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} > 1$ e $\delta_{ij} = 0$
Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} < 1$ e $\delta_{ij} = 0$

O modelo de Eberhart e Russell (1966) foi:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \quad (4)$$

Sendo os seus parâmetros:

Y_{ij} = média do clone i na posição angular j;

β_{0i} = média geral do Clone i;

β_{1i} = coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo clone à variação da posição angular;

I_j = índice ambiental codificado;

δ_{ij} = desvio da regressão;

ε_{ij} = erro experimental médio.

As estimativas desses parâmetros estão detalhadas em Cruz e Regazzi (1994).

Na adaptação do modelo de Eberhart e Russell (1966) para os estudos de tensões na madeira de clones de *T. ciliata*, considerou-se: (β_{0i}) a tensão média de crescimento dos clones C_i ; β_{1i} indicam a formação de madeira de tração nos clones C_i , se maior que zero, e indicam os clones tolerantes aos estímulos abióticos que podem causar flambagem nos fustes; $\beta_{1i}I_j$ quantifica a tensão na madeira de tração e δ_{ij} é a estabilidade ou previsibilidade de resposta dos C_i na formação de madeira de tração.

As análises de variância para β_{0i} , β_{1i} , $\beta_{1i}I_j$ e flecha máxima de flambagem do fuste (F) foram realizadas pelo seguinte modelo estatístico:

$$Y_i = \mu + C_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

em que:

Y_{im} = observação do i-ésimo clone

μ = média geral

C_i = efeito do i-ésimo clone

ε_i = erro experimental aleatório

Utilizando o programa GENES (CRUZ, 2013) processou-se as análises de variância, estimou-se os parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais e os ganhos diretos e indiretos pela seleção de clones na intensidade de um em sete clones. Selecionou-se clones com formação de madeira de tração e adaptáveis aos ambientes favoráveis à indução de flambagem do fuste (estresse mecânico) e

sem a formação de madeira de tração e, supostamente, produtores de madeira de melhor qualidade para processamento primário.

4.3.2 Alometria do fuste

As análises de variância para os dados de altura crítica de flambagem do fuste (H_{crit}), fator de segurança de flambagem (FS) e coeficiente de esbelteza (CE) foram realizadas pelo seguinte modelo estatístico:

$$Y_i = \mu + C_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

em que:

Y_{im} = observação do i-ésimo clone

μ = média geral

C_i = efeito do i-ésimo clone

ε_i = erro experimental aleatório

Utilizando o programa GENES (CRUZ, 2013) processou-se as análises de variância, estimou-se os parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais e os ganhos pela seleção de clones na intensidade de um em sete clones. Selecionou-se clones com maiores valores de altura crítica de flambagem (H_{crit}), fator de segurança (FS) e menores valores de coeficiente de esbelteza (CE), supostamente, produtores de madeira de melhor qualidade para processamento primário.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações das tensões de crescimento (TC) e das tensões na madeira de tração (TMT) são difíceis de serem avaliadas diretamente no tronco de árvores vivas. Para contornar tal situação tem-se utilizado os valores de Deformações Residuais Longitudinais (DRL) periféricas do fuste como indicadora das referidas tensões.

A Tabela 4 representa os resultados das análises de variância para tensões de crescimento (TC), indicadas pela DRL (μm), e para a densidade básica da madeira (DB). Nessas análises são considerados os efeitos de clones (C), posições periféricas angulares (P) da circunferência à altura do peito e as interações entre P e C. Observa-se que as estimativas dos coeficientes de variação experimental (CV) foram de 46,4 e 8,5%, respectivamente, para tensão de crescimento (TC) e densidade básica (DB). Para tensão de crescimento, o valor de CV encontra-se próximo aos valores registrados em estudos de clones de *Eucalyptus* (46,96%) (TRUGILHO et al., 2006). As magnitudes desses valores de CV nas avaliações das medidas de tensão de crescimento são inerentes à própria característica. O CV para densidade básica foi de baixa magnitude.

Tabela 4 Resumo da análise de variância das tensões de crescimento (TC) e das densidades básicas da madeira (DB) avaliadas à altura do peito e nas posições angulares (0°, 90°, 180° e 270°) da circunferência do fuste de sete clones de *Toonaciliata* de três anos de idade

FV	GL	Quadrado Médio	
		TC	DB
Clone (C)	6	9621**	11154**
Posição angular (P)	3	18593**	682**
C x P	18	1531**	583**
P dentro de C1	3	6335**	166 ^{ns}
P dentro de C2	3	12207**	76 ^{ns}
P dentro de C3	3	3530*	2407**
P dentro de C4	3	918 ^{ns}	1276*
P dentro de C5	3	634 ^{ns}	57 ^{ns}
P dentro de C6	3	1525 ^{ns}	177 ^{ns}
P dentro de C7	3	2620 ^{ns}	21 ^{ns}
Resíduo	84		
Média		69 µm	234 Kg.m ⁻³
Coeficiente de Variação		46,4%	8,5%

^{ns}, * e ** e referem-se, respectivamente, aos efeitos não significativos ($p > 0,05$) e significativos ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$) pelo teste F (Fisher).

Na Tabela 4, também, verifica-se que ocorreram diferenças significativas entre os sete clones (C), indicando que os clones de *Toonaciliata* estudados possuem comportamentos diferentes e permitem a seleção tanto para a tensão de crescimento, quanto para densidade básica.

A interação de C x P indicou a necessidade de decompor os efeitos de P dentro de C. Para tensão de crescimento (TC), os efeitos de P foram significativos dentro dos clones C1, C2 e C3, indicando que as tensões de crescimento variam entre as posições periféricas angulares na circunferência à altura do peito das árvores avaliadas.

Semelhantemente, tais significâncias para os efeitos de C, P e interação C x P, também, ocorreram para densidade básica (DB). Porém na decomposição

dessa interação, somente observou variações significativas de P dentro dos clones C3 e C4, evidenciando que há variações nos valores de densidade entre a tensão na suposta madeira de tração e a madeira oposta e que a magnitude destas sofrem influências genéticas.

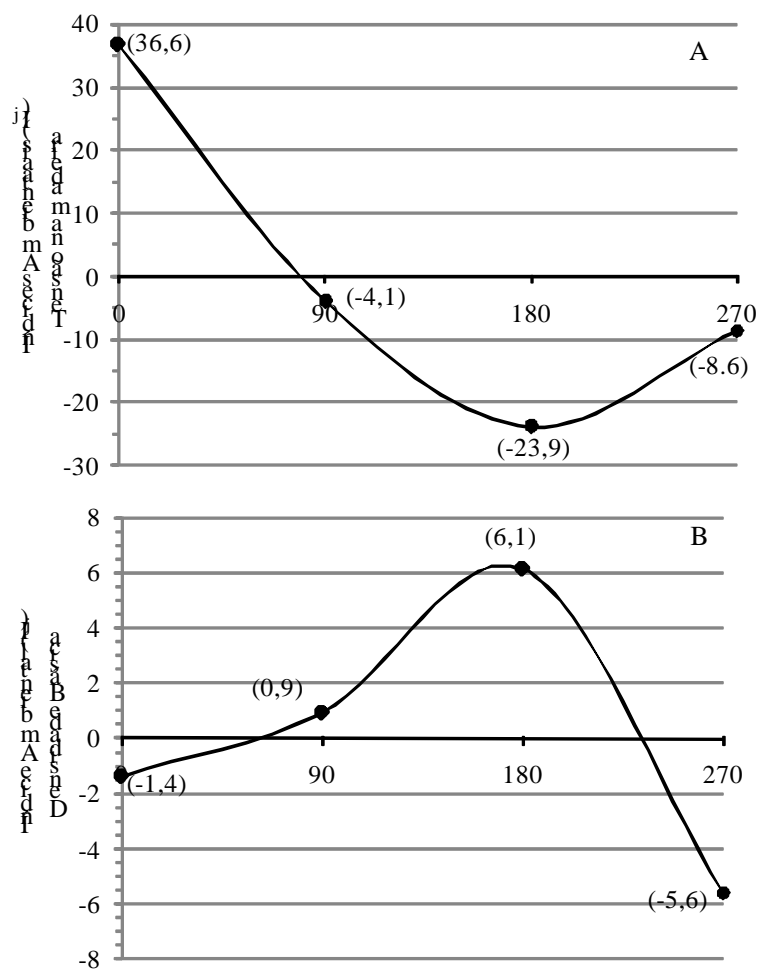
Nesse contexto, deve-se ressaltar que a formação de madeira de reação provoca alterações nas propriedades anatômicas (MONTEIRO et al., 2010) e químicas da madeira (GREEN; WINANDY; KRETSCHMANN, 1999; MONTEIRO et al., 2010), essas, por sua vez, promovem variações na densidade básica (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980), reforçando a mencionada evidência.

Tais alterações, principalmente as químicas, são relatadas às ações de efeitos genéticos (BRERETON et al., 2012), bem como de estímulos mecânicos do meio que alteram as demais propriedades básicas da madeira (WILSON; ARCHER, 1977).

O estudo de Brereton et al. (2012) há indicações de que a composição da parede celular e recalcitrância à sacarificação enzimática sofrem modificações em função das variações genéticas intraespecíficas e da posição de formação de madeira de tração. Assim, deve-se considerar que as diferentes posições periféricas angulares, em relação à posição de formação de madeira de tração, possam ser consideradas como ambientes distintos, sendo esses favoráveis ou não à geração de madeira de tração, como está ilustrado na Figura 6.

A Figura 6 representa os índices de qualidade ambiental (I_j), apresentados entre parênteses, que foram estimados de acordo com a metodologia de Eberhart e Russell (1966). Nessa metodologia aplicada em estudos de melhoramento de plantas, os valores de I_j codificam os ambientes favoráveis à formação de madeira de tração e madeira com maior densidade básica e desfavorável para a formação de madeira de tração e menor densidade básica, e se constituem numa variável independente para linearmente selecionar

genótipos produtivos, estáveis e adaptados às diferentes variações e condições de estresse mecânico para a árvore.



Posições angulares da circunferência à altura do peito (°)
 Figura 6 Índices ambientais (I_j) para os ajustes de modelos lineares (adaptados de Eberhart e Russell, 1966) utilizados na avaliação das tensões médias na madeira (A), bem como na avaliação da densidade básica (B)

Na Figura 6A, nota-se que os valores dos índices ambientais (I_j) favoráveis à formação de madeira de tração na periferia do fuste se localizam entre as posições angulares de 0° e até bem próximo a 90° . A partir dessa posição e até 270° os índices ambientais (I_j) indicam os ambientes onde se forma a madeira normal. Por outro lado, a figura 6B demonstra que os valores dos índices ambientais (I_j) mais favoráveis ao aumento da densidade básica se localizam, principalmente, nas posições angulares onde o lenho normal é produzido. Assim, observa-se que o gráfico da Figura 6B assemelha-se a uma imagem quase espelhada da Figura 6A, exceto na posição de 270° . Esse fato evidencia uma correlação negativa entre os ambientes favoráveis à produção de madeira com maior tensão e os favoráveis ao aumento da densidade básica.

A Figura 7 representa as relações entre as propriedades de tensão, seja de crescimento (TC), seja de madeira de tração (TMT) e os valores dos índices ambientais (I_j) em cada posição angular. Também estão apresentadas as relações entre densidade básica e os índices ambientais (I_j), conforme adaptação da metodologia Eberhart e Russell (1966). De forma complementar, a Tabela 4 representa os valores para os estudos das referidas relações de tensões (T), conforme o modelo ($T = \beta_{0i} + \beta_{1i}(I_j) + \mu_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$).

Nessa metodologia adaptada considerou-se que os genótipos selecionáveis, foram aqueles que apresentaram a maior estabilidade e adaptabilidade geral ou específica local onde o estresse mecânicos das árvores é favorável, como, por exemplo, os ventos. Para isso, utilizou-se a classificação adaptada da metodologia de Eberhart e Russell (1966) de genótipos, conforme foi representado na Tabela 2.

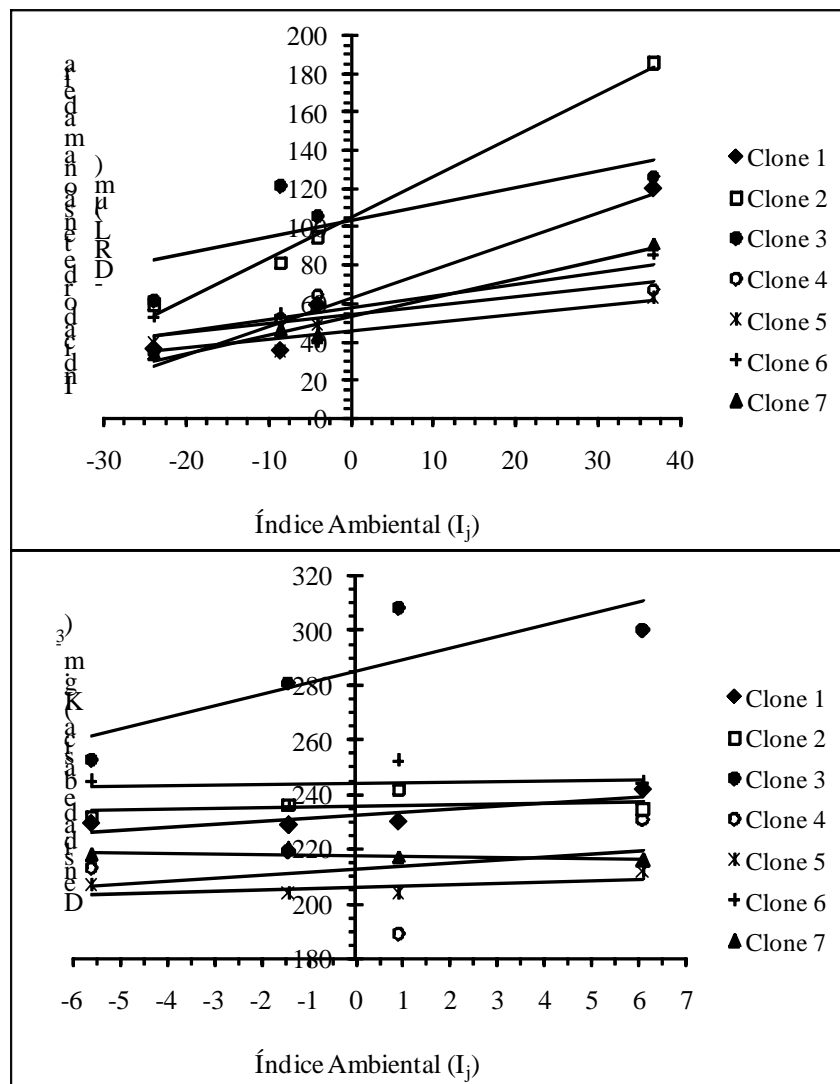


Figura 7 Relações entre as propriedades de tensão na madeira (A), de densidade básica (B) e os índices ambientais estimados por posição angular (0° , 90° , 180° e 270°) na circunferência à altura do peito

Tabela 5 Modelos lineares ajustados para as estimativas das tensões ($T = \beta_{0i} + \beta_{1i} \cdot (I_j) + \epsilon_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$) em fustes de *Toonaciliata* aos três anos de idade. Para cada clone, β_{0i} estima a média da tensão de crescimento (TC), β_{1i} estima o coeficiente de regressão e $\beta_{1i} \cdot (I_j)$ estima a tensão na madeira de tração (TMT). Também são representados os valores médios da flecha de flambagem (f) por clone estudado

Clones	β_{0i} (μm)	β_{1i}	ϵ_{ij}	R^2 (%)	TMT (μm)	F (mm)
1	63	1.49 ^{nst}	-110.4 ^{nsf}	94	55	101
2	105	2.10 ^{nst}	-228.0 ^{nsf}	99	77	44
3	103	0.91*	334.5 ^{nsf}	55	33	111
4	55	0.45*	-133.9 ^{nsf}	64	16	104
5	45	0.44*	-211.8 ^{nsf}	81	16	108
6	58	0.62*	-69.8 ^{nsf}	67	23	106
7	54	0.98*	-230.1 ^{nsf}	97	36	64

^{nst} e * são os coeficientes de regressão estatisticamente diferentes e iguais a zero, respectivamente, pelos teste t de *student* ao nível de 5% de probabilidade. ϵ_{ij} e R^2 são, respectivamente, os desvios da regressão não significativos (^{nsf}) pelo teste de F de Fisher ($p > 0.05$) e os coeficientes de determinação.

No presente trabalho, o termo adaptabilidade foi relacionado à capacidade dos sete clones de *T. ciliata*, aos três anos de idade, para responder aos estímulos dos estresses abióticos para a formação de tensão na madeira e o termo estabilidade foi relacionado à capacidade dos mesmos para exibir uma resposta previsível aos referidos estímulos.

Na Figura 7 observa-se, graficamente, as interações P x C para os clones C1, C2, C3 e C7. Nota-se que as suas retas se cruzam, indicando que essas interações tendem a ser do tipo complexo, ou seja, há uma inversão na classificação nos valores médios das tensões em função dos valores dos índices ambientais (I_j) estimados para cada posição angular na circunferência à altura do peito. Entretanto, como indicado na Tabela 3, estatisticamente tais interações

foram detectadas somente para C1, C2 e C3. Nas análises das significâncias dos valores de β_{1i} , estimados para cada clone (Tabela 5), as interações somente foram significativas para os clones C1 e C2, visto que os seus respectivos valores foram de 1,49 e 2,10, sendo estatisticamente diferentes de zero, enquanto que para os demais valores de β_{1i} foram estatisticamente iguais a zero. Porém, valores de β_{1i} iguais a 0,91 e 0,98 para os C3 e C7, respectivamente, se encontram próximos de limites para considerá-los diferentes de zero, sugerindo que em idades mais avançadas e em estresses mecânicos que induzem a formação de madeira de tração eles poderão, também, formar madeira de tração com tensões mais expressivas.

Assim, devido a não significância estatística dos desvios da regressão (δ_{ij}) e os altos valores de R^2 , exceto para C3, que indicam os bons ajustes do modelo (Tabela 5), pode-se considerar que a adaptação na metodologia de Eberhart e Russell é adequada para os estudos das forças de tensões periféricas dos fustes de árvores de diferentes genótipos de *T. ciliata*.

Entretanto, para os estudos de densidade básica da madeira em relação a tais magnitudes de relações e ajustes estatísticos não permitiram o emprego da referida metodologia.

Pelos valores de β_{1i} e dos mencionados bons ajustes estatísticos para as tensões periféricas do fuste à altura do peito, pode-se selecionar o clone C2 ($\beta_{1i}=2,10$) e C1 ($\beta_{1i}=1,49$) por terem adaptabilidade específica aos fatores abióticos que induzem estresses mecânicos de árvores. Essa adaptabilidade decorre da formação de maiores tensões na madeira de tração. Os demais clones apresentaram valores de β_{1i} que indicam as suas baixas adaptabilidades específicas a tais fatores. Isso, provavelmente, decorreu das baixas tensões na madeira. Adicionalmente esses dois clones selecionados possuem alta previsibilidade de comportamento geral ou estabilidade quando crescidos tanto

em condições que os fatores abióticos induzem ou não a estresses mecânicos, visto que os seus valores de δ_{ij} foram estatisticamente iguais a zero (Tabela 5).

Dentre as causas que induzem aos estresses mecânicos em árvores, relata-se a força de arraste do vento, força da gravidade (DASSOT et al., 2012; GARDINER; FLATMAN; THIBAUT, 2014; VALENCIA et al., 2011), bem como a assimetria de copa e distribuição de sua massa aérea (MEDHURST et al., 2011). A tensão na madeira de tração minimiza os efeitos desses fenômenos para promover a reorientação do fuste para uma posição adequada que o estabiliza mecanicamente (ALMERÁS; THIBAUT; GRILL, 2005). Assim, pode-se sugerir que a seleção dos clones C1 e C2 propiciará a produção de árvores mais tolerantes aos estresses mecânicos induzidos por fatores abióticos.

Contudo, deve-se ter em mente, que árvores com alta proporção de madeira juvenil e com alta relação entre lenho de reação e normal produzirão toras com menores taxas de rendimento no processamento primário e madeira processada com maiores índices de defeitos (BARNETT et al., 2014). Maeglin (1987) sugere que esses problemas podem ser controlados, em curto prazo, pelo aperfeiçoamento das tecnologias de desdobro de toras e, em longo prazo, pelo melhoramento genético e aplicação de adequadas técnicas silviculturais.

Na estratégia de melhoramento genético, o processo de seleção deve, entretanto, recair sobre os clones que produzem menores valores de tensões, porém é necessário que se tenham essas tensões, até certo ponto, já que as mesmas são necessárias para a árvore se manter de forma ereta. Porém esses clones devem ser cultivados, preferencialmente, em locais onde as forças que promovem que induzem estresse mecânico das árvores sejam naturalmente de baixa intensidade ou artificialmente controladas.

A Tabela 6 representa a análise de variância para as características de β_{0i} que é a tensão de crescimento, indicada pela deformação residual longitudinal, $de\beta_{1i}$ que expressa a adaptabilidade específica de árvores aos ambientes que

promovem estresse mecânico e permite a estimação da magnitude dos valores de tensão na madeira de tração, bem como para a flecha máxima de flambagem do fuste (F). Nessa tabela, também, são representados os parâmetros necessários para conduzir as seleções, tanto para clones mais adaptados do ponto de vista do melhoramento genético para tolerância a fatores abióticos que promovem estresses mecânicos nas árvores (MEM) quanto para a redução das tensões na madeira e, conseqüentemente, o melhoramento genético da sua qualidade (MQM).

Para todas as quatro características analisadas, as variações entre clones foram significativas, evidenciando a possibilidade de reduzi-las ou aumentá-las por meio de seleções genéticas, dependendo do objetivo do melhoramento genético: MEM ou MQM.

Os valores dos coeficientes de determinação genotípica (herdabilidade) foram de alta magnitude, variando de 0,62 para a flecha (F) a 0,84 para média das tensões de crescimento (β_{0i}), sugerindo que dessa seleção, se pode alcançar importantes ganhos genéticos.

As correlações genéticas (r_g) entre β_{0i} x F, β_{1i} x F e TMT x F foram negativas, relativamente altas e variaram de -0,43 a -0,84, indicando que aumentos em β_{0i} , β_{1i} e TMC reduzirão a flecha máxima de flambagem do fuste (F), ou seja, favorecerão as respostas das árvores aos fatores abióticos que induzem o estresse mecânico. Isso evidencia um cenário favorável ao melhoramento para árvores mais tolerantes a fatores abióticos que induzem o estresse mecânico em árvores (MEM).

Tabela 6 Resumo da análise de variância para β_{0i} , β_{1i} , TMT e flecha de flambagem (F). Estimativas dos parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais, correlações fenotípicas (r_f), genotípicas (r_g) e ambientais (r_e) entre os valores de β_{0i} , β_{1i} e TMT e os valores de F. Estimativas de ganhos diretos e indiretos para uma intensidade de seleção de 1:7 clones de *Toonaciliata* com três anos de idade

FV	GL	Quadrado Médio			
		β_{0i} (μm)	β_{1i}	TMT (μm)	F (mm)
Clone	6	2405**	1,46*	1964*	27,9*
Resíduo	21	396	0,47	632	10,7
Média		69,3	1,07	39,0	91,0
ϕ_f		601,3	0,36	491	7,0
σ_e^2		99,0	0,12	158	2,7
ϕ_c		502,2	0,25	333	4,3
h^2		0,84	0,68	0,68	0,62
CV_e		32	47	47	23
CV_e		29	65	64	36
r_g		-0,43	-0,84	-0,84	-
GD ₁ (%)		47	68	68	-28
GI(%)		-14	-25	-25	
ESI(%)		50	89	89	
GD ₂ (%)		-18,6	-5,7	-5,2	-18,4

ϕ_f : componente quadrático fenotípico, σ_e^2 : variância ambiental, ϕ_c : componente quadrático genotípico, h^2 : coeficiente de determinação genotípico (%); CV_e : coeficiente de variação genética (%); CV_e : coeficiente de variação experimental; r_g correlações genéticas entre as tensões (β_{0i} e TMT), adaptabilidade (β_{1i}) e flecha (F); GD₁%: ganho genético direto da seleção de clones para estabilidade mecânica de árvores; GI%: ganho genético indireto em f pela seleção direta em β_{0i} , TMT e β_{1i} ; ESI(%): eficiência relativa da seleção indireta; GD₂%: ganho genético direto da seleção de clones para qualidade da madeira.

Em outro cenário, onde não se leva em consideração a tolerância das árvores a fatores abióticos que induzem a flambagem do fuste e sim madeira com menores tensões, pode-se almejar a redução nos valores das tensões na

madeira visando ao melhoramento genético para qualidade da madeira (MQM), pois altos níveis de tensões acarretam defeitos significativos nas toras e tábuas. Entretanto, as referidas correlações negativas (Tabela 6) indicam que os valores de flecha máxima de flambagem (F) do fuste serão aumentados e que a sua reorientação à posição de equilíbrio poderá ser comprometida. Assim, tais cenários explicitam conflitantes situações na escolha entre as duas opções de melhoramento genético, caracterizando, dessa forma um importante “*trade-off*” que pode inviabilizar a condução simultânea de melhoramento genético para árvores mais tolerantes a fatores abióticos (MEM) e qualidade da madeira (MQM).

Os ganhos genéticos diretos (GD1%) decorrentes da seleção de um clone em sete, para aumentar os valores de tensão de crescimento (β_{0i}), tensões na madeira de tração (TMT) e adaptabilidade (β_{1i}) e reduzir valores de flecha máxima de flambagem (F) serão de 47, 68, 68 e -28%, respectivamente. Caso a seleção, na mesma intensidade, seja em apenas em uma dessas características que propiciam a estabilidade mecânica das árvores, os ganhos genéticos indiretos (GI%) na redução da flecha máxima de flambagem (F) serão, respectivamente, de -14, -25 e -25. Essas seleções indiretas terão, respectivamente, eficiências relativas (ESI%) da ordem de 50, 88 e 88 (Tabela 6). Essas eficiências mostram ser mais vantajoso quando a seleção se processa para aumentar as tensões (β_{1i} ou TMT), sendo que esta recairá no clone C2, cujos valores estão representados na Tabela 5.

Para contornar parte dos efeitos do referido *trade-off*, as estimativas de ganhos genéticos diretos para a redução das tensões da madeira (β_{0i} , β_{1i} e TMT) e, conseqüentemente, de sua qualidade (GD2%) somente pôde ser feita para o clone C7. Os valores de ganhos (GD2%) para essas características, bem como para F foram, respectivamente, de -18,6, -5,7, -5,2, -18,4 (Tabela 5).

As estimativas de ganhos ($GD_2\%$) foram em função dos valores dos diferenciais de seleção estimados pela seleção de C7 e não pelo índice de seleção padronizado, como empregado para as estimativas de ganhos direto $GD_1\%$. Na seleção utilizando o índice de seleção padronizado, de um em sete clones para o melhoramento da qualidade da madeira (MQM) recairia no C5 por apresentar os menores valores de tensões de crescimento (β_{0i}), adaptabilidade (β_{1i}) e tensão na madeira de tração (TMT) (Tabela 5), porém com maior valor de flecha máxima de flambagem (F).

A diferença fundamental entre esses dois cenários de melhoramento e consequente “*trade-off*” são inerentes ao fato de que para o primeiro cenário de melhoramento para árvores mais tolerantes a fatores abióticos que induzem o estresse mecânico (MEM), almeja-se o aumento nas propriedades decorrentes de um processo evolutivo de plantas para gerar benefícios que se ajuste às alterações do meio, enquanto que o segundo cenário para o melhoramento da qualidade da madeira (MQM) almeja-se a redução das referidas propriedades e isso tornará as árvores selecionadas geneticamente mais vulneráveis às desfavoráveis forças do meio e, portanto, se opondo à ontogênese.

Timell (1983) considera que a modificação estrutural da madeira normal para formar a madeira de reação é um dos processos precursores da evolução das plantas lenhosas. Apesar de esse processo ter origem biológica, as relações de resposta às forças do meio são regidas por leis e processos físicos que profundamente influenciaram a evolução das plantas (NIKLAS, 2013).

De forma alternativa, melhorias na qualidade da madeira para uso industrial poderão ser estrategicamente planejadas pela adoção de práticas silviculturais adequadas e de manejo das árvores de clones selecionados no melhoramento genético para qualidade da madeira (MQM). Para isso, essas práticas deverão ser conduzidas com o objetivo de melhorar as relações alométricas das árvores sem, contudo, afetar as suas tolerâncias aos fatores

abióticos que induzem o estresse mecânico. Dessa alternativa pode-se sugerir a seleção de indivíduos, mesmo com menores tensões (tensões de crescimento e tensões na madeira de tração), porém com propriedades e relações alométricas mais apropriadas para uma maior tolerância ao estresse mecânico diante de estímulos dos fatores abióticos.

Entre essas relações, destacam-se a altura crítica de flambagem (H_{crit}) e o fator de segurança (FS) definido pela razão entre H_{crit} e altura total (H_t). Essa propriedade e relação refletem importantes funções de adequação das árvores no meio e definem a margem pela qual a altura total (H_t) não pode ultrapassar a altura crítica de flambagem (H_{crit}), para, assim impedir que o tronco não se curve ou quebre por não suportar a massa aérea da árvore (NIKLAS, 1997; WAGHORN; WATT, 2013; WATT; KIRSCHBAUM, 2011).

Outra importante relação alométrica de árvores é o coeficiente de esbelteza, definido pela razão entre altura total da árvore (H_t) e o diâmetro altura do peito (DAP). Essa relação, também é um processo ontogênico, que define limites de altura total (H_t) do fuste para um dado diâmetro altura do peito (DAP) da árvore (ABE; YAMADA, 2008; NIKLAS, 1995).

Para todas essas três relações alométricas, a análise de variância mostrou variações significativas entre clones de *T. ciliata* aos três anos de idade e que essas são geneticamente controladas. As estimativas dos coeficientes de determinação genotípicas (herdabilidade) foram de alta magnitude, apresentando valores de 0,92; 0,94 e 0,86 para H_{crit} , FS e CE, respectivamente. Tais coeficientes e intensidade de seleção de 1 em 7 clones propiciaram ganhos genéticos previstos em 11,2; 15,7 e -12,2%, respectivamente. Nessa seleção, os clones selecionados foram C1 (H_{crit}) e C2 (FS e CE). Os coeficientes de variação experimental foram baixos e da ordem de 4,3, 5,3 e 6,6%, indicando que estimativas dos parâmetros genéticos, coeficientes de determinação genotípicos (herdabilidade) e ganhos foram experimentalmente acurados.

A Figura 8 ilustra a relação entre altura crítica de flambagem (H_{crit}) e a altura total da árvore (H_t) e, conseqüentemente, os fatores de segurança (FS) para cada clone. A partir dessa expressão observa-se que os clones C2 e C4 se encontram bem acima do fator de segurança (FS=1), pois as suas alturas totais (H_t) são baixas em relação às suas alturas críticas de flambagem (H_{crit}). Esses dois clones apresentam, respectivamente, flechas máximas de flambagem (F) de 44 e 104 mm (Tabela 5). Tendo em vista que C2 apresenta a maior adaptabilidade a fatores abióticos específicos desfavoráveis (β_{1i}) e as maiores tensões na madeira (tensões de crescimento e tensão na madeira de tração), como foi anteriormente apresentado (Tabela 5), sugere-se grande sinergismo entre fatores de segurança (FS) e tensões na madeira, reforçando, dessa forma, a sua seleção para cultivos em locais que promovem maior estresse mecânico de árvores.

A Figura 8, também, demonstra que os fatores de segurança (FS) dos demais clones estudados se aproximam muito do FS=1, sugerindo que, no momento atual (três anos), se deve conduzir os desbastes apropriados para aumentar os valores de DAP e, conseqüentemente, elevar a altura crítica de flambagem (H_{crit}) para evitar que a flambagem do fuste alcance níveis comprometedores de segurança. Tal perspectiva indica que nos planos de desbaste deve-se, adicionalmente aos estudos de incremento de área basal, considerar as evoluções dos fatores de segurança ao longo do tempo.

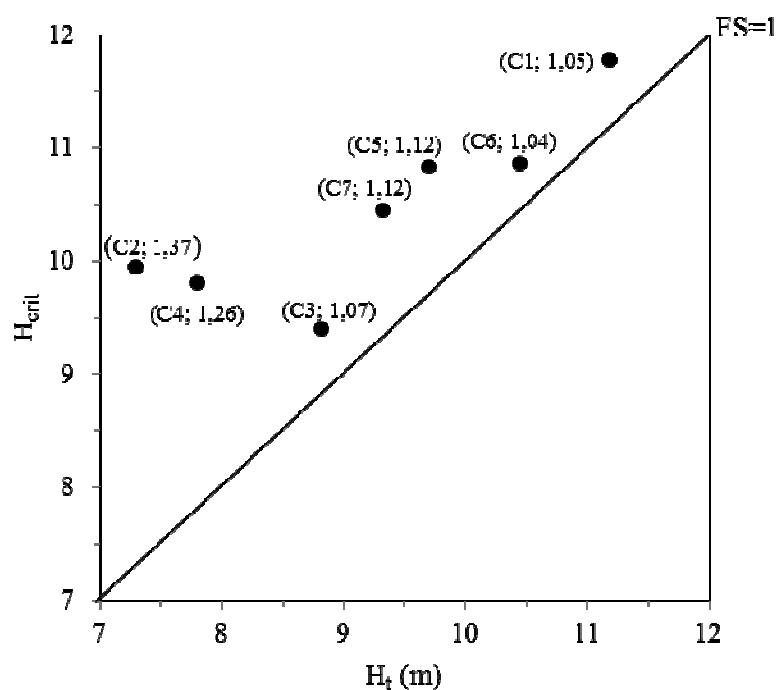


Figura 8 Relação entre H_{crit} e altura total (H_t) e expressões dos fatores de segurança (FS) de árvores de clones de *Toonaciliata* aos três anos de idade. Codificação dos clones (C_i) e respectivos valores de FS se encontram entre parênteses

Com relação ao clone C7, que apresenta baixos níveis de tensões e cuja seleção foi anteriormente recomendada e relatada para minimizar o “*trade-off*” nos cenários de melhoramento genético para árvores mais tolerantes a fatores abióticos que induzem estresses mecânicos (MEM) e madeira de melhora qualidade (MQM), se encontra em uma condição mais emergente de desbaste para manter a sua flecha máxima de flambagem no atual valor de 64 mm, como representado na Tabela 5.

A Figura 9 representa os valores de fatores de segurança (FS) e os valores de coeficiente de esbelteza (CE). Bem como a relação entre essas importantes características de árvores que surgiram para as mesmas se adequarem aos locais de plantio.

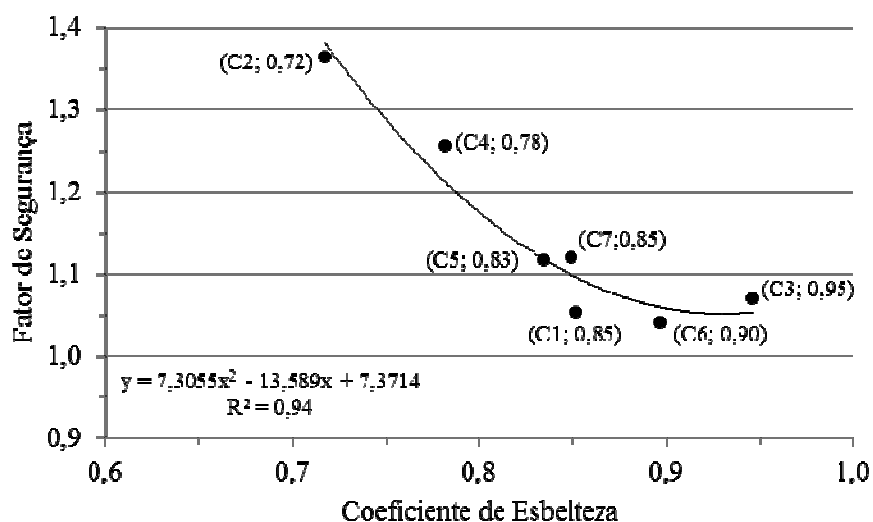


Figura 9 Relação entre fator de segurança (FS) e coeficiente de esbelteza (CE) de clones de *Toonaciliata* com três anos de cultivo. Codificação dos clones (C_i) e respectivos valores de CE se encontram entre parênteses

Os valores de coeficiente de esbelteza (CE) variaram entre 0,72 (C2) a 0,95 (C3) (Figura 9) e os valores do fator de segurança (FS) entre 1,05 (C1) e 1,37 (C2) (Figura 8). A relação entre o maior fator de segurança (FS) e o menor coeficiente de esbelteza (CE) é favorável ao C2, fornecendo outra evidência para a sua seleção e cultivos em locais que induzem o estresse mecânico. Assim, devido às suas fortes tensões na madeira, sugere-se o aperfeiçoamento de

técnicas de desdobros e secagem de sua madeira para produzir e melhor atender o seu uso tecnológico industrial.

O excelente ajuste do modelo linear do segundo grau ($R^2=0,94$) permite estimar o fator de segurança (FS) pelos valores do coeficiente de esbelteza (CE). Esse resultado indica que o grau de tolerância a fatores abióticos que induzem o estresse mecânico das árvores é facilmente e rapidamente mensurável no campo pela razão entre a altura da árvore e o seu valor de DAP, tornando a seleção para o melhoramento genético para árvores mais tolerantes (MEM) e para o estabelecimento de planos de desbastes bastante exequíveis. O referido ajuste foi superior ao apresentado para o *Pinus radiata*, que apresentou um valor de R^2 igual a 0,79 (WAGHORN; WATT, 2013).

Esses resultados indicam a necessidade de redução da densidade de árvores em cultivos para os clones C1, C3, C5, C6 e C7, para que esses possam ter o coeficiente de esbelteza (CE) reduzido, pelo menos no valor de 0,8 e, assim, de acordo com o modelo apresentado, o valor do fator de segurança (FS) será aumentado para 1,17.

Efeitos dos desbastes para adequar os valores de coeficiente de esbelteza (CE) e conferir maior resistência à quebra de árvores por vento e neve, em povoamentos de *Piceaabies* são relatados por Slodicak e Novak (2006). Nesse estudo os desbastes reduziram o coeficiente de esbelteza (CE) em valor médio de 0,8 ($m.cm^{-1}$) e teve forte influência na tolerância das árvores crescidas sobre fortes influências de ventos e neve.

5 CONCLUSÕES

- 1) A adaptação do método de Eberhart e Russell é aplicável aos estudos das tensões da madeira em clones de *Toonaciliata*.
- 2) As tensões de crescimento, tensões na madeira de tração e adaptabilidade de árvores de *Toonaciliata* são características herdáveis reafirmando o processo evolutivo para resistência mecânica de árvores.
- 3) Existe “*trade-off*” nos interesses de melhoramento na estabilidade mecânica de árvores e no melhoramento na qualidade da madeira.
- 4) As relações alométricas: altura crítica de flambagem, fator de segurança e coeficiente de esbelteza são herdáveis, sugerindo a seleção de clones de *Toonaciliata* mais resistentes às ações das forças do meio.
- 5) As relações entre altura crítica de flambagem e altura total, bem como as relações entre fator de segurança e coeficiente de esbelteza sugerem suas inclusões nos programas de melhoramento e nos planos de desbaste.

REFERÊNCIAS

ABE, N.; YAMADA, T. Variation in allometry and tree architecture among *Symplocos* species in a Japanese warm-temperate forest. **Journal Plant Research**, Tokyo, v. 121, p. 155-162, 2008.

ALMERÁS, T.; THIBAUT, A.; GRILL, J. Effect of circumferential heterogeneity of wood maturation strain, modulus of elasticity and radial growth on the regulation of stem orientation in tress. **Tree**, Santa Mônica, v. 19, p. 457-467, 2005.

APIOLAZA, L. A.; CHAUHAN, S. S.; WALKER, F. C. F. Genetic control of very early compression and opposite wood in *Pinusradiata* and its implications for selection. **Tree Genetics & Genomes**, Berlin, v. 7, p. 563-571, 2011.

ARES, A.; FOWNES, J. H. Productivity, nutrient and water-use efficiency of *Eucalyptus saligna* and *Toonaciliata* in Hawaii. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 139, p. 227-236, 2000.

ASPPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 438 p.

ASSIS, T. F. Estratégias de melhoramento para obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria. In: SEMINÁRIO DE MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 1., 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s. n.], 2001, p. 1-18.

ASSIS, T. F.; RESENDE, M. D. V. Genetic improvement of forest tree species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology [on line]**, Viçosa, MG, v.11, p. 44-49, June 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cbab/v11nspe/07.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

BAMBER, R. K. A general theory for the origin of growth stresses in reaction wood: how trees stay upright. **IAWA**, Utrecht, v. 22, n. 3, p. 205-212, 2001.

BARNETT, J. R. et al. **The biology of reaction wood**: introduction. Berlin: Springer, 2014.

BARNETT, J. R.; JERONIMIDIS, G. (Ed.). **Wood quality and its biological basis**. Boca Raton: CRC, 2003.

BIECHELE, T.; NUTTO, L.; BECKER, G. Growth strain in *Eucalyptus nitens* at different stages of development. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 43, n. 4, p. 669-679, 2009.

BOYD, J. D. Relationship between fiber morphology and shrinkage of wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 11, n. 1, p. 3-22, 1977.

BOYD, J. D. The key factor in growth stress generation in trees. Lignification or crystallisation. **IAWA Bulletin**, Leiden, n. 6, p.139–150, 1985.

BRAZ, R. L. et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toonaciliata* em diferentes idades. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 663 - 670, out. / dez. 2013.

BRERETON, N. J. B. et al. Reaction wood: a key cause of variation in cell wall recalcitrance in willow. **Biotechnology for Biofuels**, London, v. 5, n. 83, p. 1-11, 2012.

BUFALINO, L. et al. Modelagem de Propriedades Físicas e Mecânicas em Painéis Aglomerados de Cedro Australiano. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 243-249, 2012.

BYGRAVE, F. L.; BYGRAVE, P. L. **Growing australian red cedar and other Meliaceae Species in plantation**. Canberra: RIRDC, 2005. 60 p.

CALOGENO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito da vaporização de toras na redução dos efeitos associados a tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 431-440, 2005.

CARDOSO JUNIOR, A. A. et al. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 218-224, jul./set. 2005.

CARVALHO, A. M. et al. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbiacitriodora* e *Eucalyptusurophylla*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 323-331, 2010.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres**: desastres naturais. Brasília: MIN, 2003. 174 p.

CEDRO australiano: valorização de espécies nobres. **Boletim Florestal**, Piracicaba, v. 2, n. 7, p. 2-4, fev. 2008.

CHAUHAN, S. S.; WALKER, J. Relationships between longitudinal growth strain and some wood properties in *Eucalyptus nitens*. **Australian Forestry**. Queen Victoria, v. 67, n. 4, p. 254-260, 2004.

CLAIR, B.; RUELLE, J.; THIBIAUT. Relationship between growth stresses, mechano-physical properties and proportion of fiber with gelatinous layer in chestnut (*Castanea Sativa* Mill.). **Holzforschung**, Berlin, v. 57, p. 189-195, 2003.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390 p.

CUNNINGHAM, S. A. et al. Patterns of host use by the shoot-borer *Hypsipylagrandella* (Pyralidae: Lepidoptera) comparing five Meliaceae tree species in Asia and Australia. **Forestry Ecology and Management**, Amsterdam, v. 205, n. 1/3, p. 351-357, Feb. 2005.

DASSOT, M. et al. Effect of tree size and competition on tension wood production over time in beech plantations and assessing relative gravitropic response with a biomechanical model. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 99, n. 9, p. 1427-1435, 2012.

DINWOODIE, J. M. Growth stresses in timber: a review of literature. **Forestry**, Oxford, v. 39, n. 2, p. 162-170, 1966.

DU, S.; YAMAMOTO, F. An overview of the biology of reaction wood formation. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 49, n. 2, p. 131-143, 2007.

EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 1, n. 1, p. 36-40, 1966.

EDMONDS, J. M. The potential value of *Toona* species (Meliaceae) as multipurpose and plantation trees in Southeast Asia. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v. 72, n. 3, p. 181-186, 1993.

ESTEBAN, L. G. et al. **La madera y su anatomía**. Madrid: AMVE, 2003. 320 p.

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.

FERREIRA, M. Melhoramento florestal e silvicultura intensiva com eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 31, p. 5-11, jul./ago. 1983.

FERREIRA, S. et al. Resistência mecânica de caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 133-140, jul. 2010. Supl.

FOURNIER, M. et al. Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 15, p. 4793-4815, 2013.

GARDINER, B.; FLATMAN, T.; THIBAUT, B. Commercial implications of reaction wood and the influence of forest management. In: GARDINER, B. et al. (Ed.). **The biology of reaction wood**. Berlin: Springer, 2014. p. 249-274, cap. 9. Disponível em: <<http://prodinra.inra.fr/record/253073>>. Acesso em: 21 jul. 2014.

GOLLE, D. P. et al. Melhoramento florestal: ênfase na aplicação da biotecnologia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1606-1613, ago. 2009.

GONÇALVES, S. V. B. **Ferramentas para avaliação das propriedades da madeira em árvores vivas de *Toonaciliata* (Roemer) e aplicações no melhoramento genético**. 2009. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

GREEN, D. W.; WINANDY, J. E.; KRETSCHMANN, D. E. **Mechanical properties of wood**. Madison: Forest Products Laboratory, 1999. cap 4, p. 1-45.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2012.

JACOBS, M. R. The growth stresses of wood stems. **Bulletin Commonwealth Forestry Bureau**, Canberra, v. 28, p. 1-67, 1945.

JULLIEN, D. et al. Relationship between tree morphology and growth stress in mature European beech stands. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 68, n. 4, p. 681-688, 2013.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan./dez. 2000.

LENZ, P. et al. Genetic control of wood properties in *Piceaglauca* - an analysis of trends with cambial age. **Canadian Journal Forest Research**, Ottawa, v. 40, n. 4, p. 703-715, Apr. 2010.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; PIEDADE, S. M. S. Rachaduras de extremidades de tora e suas implicações nas rachaduras da madeira serrada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 13-24, jun. 2003.

LUNZ, A. M. et al. *Hypsipylagrandella* em Mogno (*Swieteniamacrophylla*): situação atual e perspectivas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 59, p. 45-55, jul./dez. 2009.

MAEGLIN, R. R. Juvenile wood, tension wood, and growthstress effects on processing hardwoods. In: ANNUAL HARDWOOD SYMPOSIUM, 15., 1987, Memphis. **Proceedings...** Memphis: Hardwood Research Council, 1987. p. 100-108.

MALAN, F. S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS* PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s. n.], 1995. 19 p. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/cap01.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2014.

MANGIALAVORI, A. et al. Growth measurements in commercial plantations of Australian red Redar (*Toona ciliate* var. *australis*) in Salta province, Argentina. **SAGPyA Forestal**, Buenos Aires, n. 26, p. 2-6, 2003.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos.** Santa Maria: INPE, 2007. 20 p.

MATTOS, R. B. Possibilidade de ganho de fuste em espécies euxilóforas nativas da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n. 2, p.111-120, 2003.

MEDHURST, J. et al. Stem eccentricity, crown dry mass distribution, and longitudinal growth strain of plantation-grown *Eucalyptus nitens* after thinning. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 41, n. 11, p. 2209-2218, 2011.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.** 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MONTEIRO, T. C. et al. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 1, n. 1, p. 6-11, nov. 2010.

MÜLLER, J. S. et al. Sistemas Agroflorestais com café (*Coffea arabica* L.) cedro australiano (*Toonaciliata* M. Roem. Var. *australis* (F. Muell) Bahadur) na Zona da Mata de Minas Gerais: estudo de caso. **Agrossilvicultura**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 51-60, 2004.

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

NIKLAS, K. J. Biophysical and size-dependent perspectives on plant evolution. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 28, p. 1-11, 2013.

NIKLAS, K. J. Influence of tissue density-specific mechanical properties on the scaling of plant height. **Annals of Botany**, London, v. 72, p. 173-179, 1993.

NIKLAS, K. J. Mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Wood. Size- and age-dependent variations in sap- and heartwood. **Annals of Botany**, London, v. 79, p. 265- 272, 1997.

NIKLAS, K. J. Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk-taper. **Annals of Botany**, London, v.75, p. 217-227, 1995.

PAIVA, Y. G. et al. Zoneamento agroecológico de pequena escala para *Toonaciliata*, *Eucayptus grandise* *Eucalyptusurophyllana* Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim – ES, utilizando dados SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1785-1792.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4th ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. Anais... São Paulo: [s. n.], 1995. p. 50-58.

POSSATO, E. **Árvores de *Eucalyptus* flambadas pela ação dos ventos**. 2014. 1 fotografia.

RICKEN, P. et al. **Crescimento diamétrico de povoamentos de *Toonaciliata* var. *australis* em Adrianópolis, PR**. Colombo: Embrapa, 2011. 4 p.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordiatrichotoma* (Vell.) Arráb. ExSteud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, out./ dez. 2009.

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

SANTOS, A. M. et al. Estimação de parâmetros genéticos em teste de procedência e progênie de cedro australiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2013. p. 428-432.

SÁ, V. A. et al. Manufatura de painéis cimento-madeira de cedro australiano (*Toonaciliata* M. Roem var. *australis*) de diferentes procedências e idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 559-566, dez. 2010.

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

SILVA, L. T. M. **Morfometria, qualidade do tronco e da copa de *Peltophorumdubium* (Spreng) Taub. em povoamento experimental no estado do Rio Grande do Sul**. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SLODICK, M.; NOVAK, J. Silvicultural measures to increase the mechanical stability of pure secondary Norway spruce stands before conversion. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 224, p. 252-257, 2006.

SORAGI, L. C. **Qualidades de superfícies usinadas em madeira de *Toonaciliata***. 2009. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

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

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

SOUZA, J. C. A. V. **Propagação vegetativa em cedro australiano (*Toonacililata* M. Roem) por miniestaquia**. 2007. 41 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2007.

TAYLOR, A.; FRANKLIN, J. **Are fast-grown trees of low quality?** Knoxville: University of Tennessee. Intitute of Agriculture. Extention W 253, 2011. 5 p. Disponível em: <<https://utextension.tennessee.edu/publications/Documents/W253.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

TEIXEIRA, D. A. **Promoção de enraizamento e indução de resistência Sistêmica à ferrugem (*Pucciniapsidii*) e à mancha de *Cylindro cladium candelabrum* mediadas por Rizobactérias em *Eucalyptus* spp.** 2001. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

TIMELL, T. E. Origin and evolution of compression wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 37, n. 1, p. 1-10, 1983.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, jul. 2005.

TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 1995. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação da tensão de crescimento em *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 38-44, jan./dez. 2002.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, jul./set. 2006.

TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, J. T. S. Relationships and estimates of longitudinal growth stress in *Eucalyptus dunnii* at different ages. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 723-729, 2008.

VALENCIA, J. et al. Longitudinal growth strain as a log and wood quality predictor for plantation-grown *Eucalyptus nitens* sawlogs. **Wood Science and Technology**, New York, v. 45, p. 15-34, 2011.

VIDAURRE, G. B. Propriedades da Madeira de Reação. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 26-37, jan./mar. 2013.

WAGHORN, M. J.; WATT, M. S. Stand variation in *Pinus radiata* and its relationship with allometric scaling and critical buckling height. **Annals of Botany**, London, v. 111, n. 4, p. 675-680, 2013.

WASHUSEN, R.; ILIC, J. Relationship between transverse shrinkage and tension wood from three provenances of *Eucalyptus globulus* Labill. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 59, p. 85-93, 2001.

WATT, M. S. et al. Modelling environmental variation in young's modulus for *Pinus radiata* and implications for determination of critical buckling height. **Annals of Botany, London**, v. 98, p. 765-775, 2006.

WATT, M. S.; KIRSCHBAUM, M. U. F. Moving beyond simple linear allometric relationships between tree height and diameter. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 222, p. 3910-3916, 2011.

WIKINS, A. P. Nature and origin of growth stresses in trees. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 49, n. 1, p. 56-62, 1986.

WILSON, B. F.; ARCHER, R. R. Reaction wood: induction and mechanical action. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 28, p. 23-43, 1977.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 34, n.1, p. 93-98, 2010.

ZIECH, R. Q. S. **Características tecnológicas da madeira de cedro-australiano (*Toonaciliata*M. Roem) produzida no sul do Estado de Minas Gerais**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

ZUBIZARRETA-GERENDIAIN, A. et al. Factors affecting wind and snow damage of individual trees in a small management unit in Finland: assessment based on inventoried damage and mechanistic modeling. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 46, n. 2, p. 181-196, 2012.