

Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras
de topo em toras de *Eucalyptus* spp.Growth stress and its relationship with
end splits in logs of *Eucalyptus* spp.Rafael Beltrame¹, Matheus Lemos de Peres², Marília Lazarotto³,
Darci Alberto Gatto¹, Eduardo Schneid⁴ e Clovis Roberto Haselein⁵**Resumo**

Com o crescimento da produção de madeiras de espécies exóticas, a exemplo das pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, torna-se necessário o enfoque aos seus parâmetros de qualidade. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi a determinação dos níveis de deformações residuais longitudinais (DRL), as estimativas das tensões de crescimento longitudinal (TCL), bem como os índices de rachaduras de topo (IRT) em toras de *Eucalyptus* spp. O material utilizado teve origem de um teste clonal entre espécies do gênero *Eucalyptus*. Para cada clone, foram selecionados oito indivíduos, totalizando 232 árvores, analisadas aos oito anos de idade. Foi feita a análise da DRL em árvores em pé e vivas, com o auxílio de um extensômetro digital. Para a determinação da TCL levou-se em consideração a DRL e o módulo de elasticidade estático, determinado de acordo com a norma ASTM D 143. O IRT foi determinado em duas árvores para cada clone, avaliando-se a abertura e o comprimento das rachaduras no sentido transversal, em função da altura comercial (toras subdivididas) e de cada extremidade do torete (ponta fina, ponta grossa). As variáveis do estudo foram submetidas a análises de variância para posterior comparação de médias pelo teste de Scott-Knott e análises de Correlação de Pearson. Por meio das análises estatísticas, obteve-se um valor médio de 0,147 mm para a DRL e, para a TCL, valor médio de 303,5 kgf.cm⁻². Já para IRT, obteve-se um valor médio de 0,46%. Os resultados para IRT demonstraram diferenças estatísticas entre os clones, posições de retirada das toras analisadas, bem como as posições de extremidade do torete. Entretanto, entre blocos de agrupamento por espécie não houve diferença significativa. Na análise de Pearson foram encontradas correlações positivas e significativas das variáveis DRL/TCL com o índice de rachaduras. Com isso, conclui-se que é possível prever a tendência do IRT, fazendo-se a avaliação no campo da DRL, tornando-se esta variável uma ferramenta confiável para a seleção de clones menos propensos ao desenvolvimento de rachaduras. **Palavras-chave:** deformação residual longitudinal, defeitos na madeira, qualidade da madeira.

Abstract

The growth of the production of exotic woods, such as from the genus *Eucalyptus*, requires a focus on its quality parameters. In this context, the aim of this work is to determine the level of longitudinal residual strain (DRL); estimate the longitudinal growth stresses (TCL) and the logs' end splitting (IRT) of *Eucalyptus* spp. wood. The material used came from a clonal test of various *Eucalyptus* species. Eight trees of each clone were selected, totalizing 232 trees, with 8 years of age. DRL values were obtained in live and standing trees using a digital extensometer. Determination of TCL was performed considering DRL values and static modulus of elasticity, which were obtained according to the ASTM D 143 standard. IRT was evaluated in two trees of each clone, in which width and length splitting in the transversal section were measured related to commercial height (subsection of logs) and at the extremity of each section (small and large end). The study variables were subjected to the analysis of variance for comparison of means by the Scott-Knott test and Pearson correlation analysis. Through statistical analysis, a mean value of 0.147 mm for the DRL and a mean value of 303.5 kgf.cm⁻² for the TCL were obtained. An average value of 0.46% was obtained for IRT. A statistical difference between clones, commercial height position and small and large end of each log was verified in IRT analysis. However, no significant difference between grouping blocks per species was found. Pearson's test for DRL, TCL and

¹Doutor. Professor Adjunto do Centro de Engenharias. UFPel - Universidade Federal de Pelotas. Rua Conde Porto Alegre, 793 - 96010-290 - Pelotas, RS. E-mail: beltrame.rafael@yahoo.com.br; darcigatto@yahoo.com.

²Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. UFPel - Universidade Federal de Pelotas. Rua Conde Porto Alegre, 793 - 96010-290 - Pelotas, RS. E-mail: matheusldeperes@gmail.com.

³Doutora. Professora Adjunta do Departamento de Horticultura e Silvicultura. UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves - 91540-000 - Porto Alegre, RS. E-mail: marilia.lazarotto@ufrgs.br.

⁴Doutorando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Caixa Postal 476 - 88040900 - Florianópolis, SC. E-mail: eduardoschneid87@gmail.com.

⁵Doutor. Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima, 1000 - 97105-900 - Santa Maria, RS. E-mail: clovis.haselein@ufsm.br.

IRT variables was performed and the main findings showed significant and positive correlations of DRL/TCL variables with IRT. Therefore, it is possible to predict the trend of IRT by performing an evaluation of DRL in the field; so this variable becomes a reliable tool for the selection of clones less prone to splitting.
Keywords: longitudinal residual strain, wood defects, wood quality.

INTRODUÇÃO

Os plantios florestais, especialmente com espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, apresentam como tendência a produção de madeira em toras (volumétrica), porém, na maioria das vezes a qualidade dessa madeira não é levada em consideração. A qualidade refere-se a adequação da madeira para um determinado uso, atendendo os requisitos necessários do setor madeireiro para a fabricação de um produto.

A definição de qualidade da madeira pode apresentar diferentes significados nos setores produtivos. Na silvicultura, a qualidade está inserida em árvores de boa forma cilíndrica e diâmetros homogêneos; nos processos tecnológicos relaciona-se com o mínimo possível de defeitos ao longo do tronco (nós ou rachaduras); e, nos setores relacionados à construção civil, refere-se a madeira com boa estabilidade dimensional.

Com a intensificação no uso da madeira de eucalipto, como matéria-prima para fins industriais ou construtivos, torna-se importante o conhecimento de suas características químicas, anatômicas, físicas ou mecânicas. A madeira, por ser um material orgânico heterogêneo, composto basicamente de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, apresenta uma enorme versatilidade de usos para obtenção de uma série de produtos (SILVA, et al., 2005).

Entretanto, a maioria das espécies de rápido crescimento apresenta limitações técnicas quanto à substituição das madeiras tropicais na indústria madeireira, devido à ocorrência de defeitos como, por exemplo, rachaduras e empenamentos (arqueamento, encurvamentos, encanoamentos e torcimentos), bem como variações de dimensões causadas pelas tensões de crescimento (TRUGILHO et al., 2002; SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2003; HASELEIN et al., 2004; LIMA et al., 2004).

Dessa forma, busca-se estudar esse fenômeno, na expectativa de avaliar a sua relação com a ocorrência de defeitos na madeira, com o objetivo de tentar amenizar o seu efeito, provocando a melhoria da qualidade do produto, agregando valor e aumentando sua competitividade (ROCHA; TOMASELLI, 2002).

De acordo com Assis (2000), a madeira de eucalipto é, por vezes, referida como de difícil processamento, em razão dos altos níveis de tensões de crescimento, dificultando a obtenção de materiais com qualidade superior. As rachaduras associadas a essas tensões, juntamente com os defeitos de secagem, trazem, como resultado, perdas significativas de material durante o processamento industrial, aspectos considerados como principais entraves à utilização econômica desse gênero (TRUGILHO et al., 2004; LIMA et al., 2007). Alguns estudos foram desenvolvidos nos últimos anos, na busca de entender, quantificar e desenvolver métodos de controle dessas rachaduras e empenamentos provocados pela tensão de crescimento, correlacionando-os a outras características da madeira (SOUZA, 2002; TRUGILHO, 2005).

Diante disso, o objetivo do presente estudo foi determinar os níveis de deformações residuais longitudinais; as estimativas das tensões de crescimento longitudinal; os índices de rachaduras de topo em toras; para, avaliar as correlações entre essas variáveis com a madeira de *Eucalyptus* spp.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O material genético utilizado foi proveniente de um teste clonal de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, *E. globulus* Labill., *E. maidenii* F. Muell., *E. saligna* Smith, *E. grandis* W. Hill ex Maiden, *E. pellita* F. Muell., *E. resinifera* Smith in J. White, *E. kirtoniana* F. Muell. e *E. dunnii* Maiden. O experimento foi realizado no município de Tapes, RS, em área pertencente à empresa CMPC Celulose Riograndense. O povoamento foi implantado em agosto de 2003, com espaçamento inicial de 3,0 × 3,0 m, com 138 clones oriundos de hibridações interespecíficas. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com dez repetições de seis plantas (60 árvores por clone), no total de 8.280 árvores, em área de, aproximadamente, 7,3 hectares.

Seleção dos clones

Os clones de *Eucalyptus* spp. foram selecionados por meio das variáveis de crescimento obtidas de um inventário florestal realizado aos três e aos sete anos de idade. Para tanto, foram mensurados os caracteres diâmetro à altura do peito, aos três anos (DAP3) e aos sete anos (DAP7), e a altura total das árvores, aos sete anos (H7).

Com base nos dados desses três parâmetros, os 138 clones foram alocados em cinco grupos, com o auxílio do método das k-médias (MINGOTI, 2005). Por meio desse agrupamento, selecionou-se 29 clones para o estudo. Destes, foram selecionados 15 clones pertencentes ao grupo 1, 10 clones pertencentes ao grupo 2 e quatro clones do grupo 3, conforme a Tabela 1. Os clones pertencentes aos grupos 4 e 5 não foram selecionados devido aos baixos valores de suas variáveis dendrométricas.

Para cada clone, foram selecionadas oito árvores para a determinação das variáveis do estudo, totalizando 232 árvores amostradas aos oito anos de idade. Foram levados em consideração, para essa seleção, a forma do fuste (retilíneo), ausência de bifurcação, fenótipo, boas condições fitossanitárias e radiação solar. Árvores localizadas próximo às bordaduras não foram utilizadas, para eliminar as interferências ocasionadas por ventos.

Deformação residual longitudinal

A deformação residual longitudinal (DRL), considerada uma medida indireta da tensão de crescimento, foi determinada em árvores em pé e vivas, com o auxílio de um extensômetro (Figura 1). Para a medição, foi removida a casca do tronco das árvores na altura de 1,30 m do solo (diâmetro à altura do peito, DAP), para a introdução de dois pinos distantes entre si (45 mm) na direção da grã, para a fixação do aparelho. Em seguida, com o auxílio de uma furadeira manual, foi realizado um orifício de 20 mm de profundidade na posição mediana entre os pinos.

O rompimento dos tecidos do lenho resultante dessa perfuração provoca a liberação das deformações no interior da árvore, sendo essa uma medida indireta das tensões de crescimento, registrada pelo relógio do aparelho.

Estimativa da tensão de crescimento longitudinal

Para a estimativa da tensão de crescimento longitudinal (TCL), propriamente dita, foram confeccionados corpos de prova para o ensaio de flexão estática na condição saturada, conforme a norma D 143-94 (ASTM - 2000), para a determinação do módulo de elasticidade estático (E). Os valores encontrados para o MOE foram

Tabela 1. Descrição dos clones de *Eucalyptus* spp. selecionados para o estudo.

Table 1. Description of the *Eucalyptus* spp. clones selected for the study.

| Grupo 1 | | Grupo 2 | | Grupo 3 | |
|---------|--|---------|--|---------|---|
| Clone | Genealogia | Clone | Genealogia | Clone | Genealogia |
| 8 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | 1 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. maidenii</i> | 7 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> |
| 9 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | 3 | <i>E. globulus</i> x <i>E. grandis</i> | 16 | <i>E. grandis</i> x <i>E. maidenii</i> |
| 12 | <i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i> | 10 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | 22 | <i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i> |
| 26 | <i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i> | 11 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | 23 | <i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i> |
| 29 | <i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i> | 13 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | | |
| 31 | <i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i> | 14 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. kirtoniana</i> | | |
| 33 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | 21 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | | |
| 34 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | 24 | <i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i> | | |
| 35 | <i>E. urograndis</i> x <i>E. grandis</i> | 25 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | | |
| 53 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> | 27 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> | | |
| 54 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> | | | | |
| 64 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> | | | | |
| 68 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> | | | | |
| 72 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> | | | | |
| 73 | <i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i> | | | | |



Figura 1. Mensuração (esquerda para direita) da deformação residual longitudinal (DRL) nas árvores de *Eucalyptus* spp.
Figure 1. Longitudinal residual strain (left to right) measurement on *Eucalyptus* spp. trees.

corrigidos, devido ao efeito do cisalhamento. Dessa forma, obteve-se o módulo de elasticidade verdadeiro (E), conforme descrito por Bodig e Jayne (1982).

Diante disso, foi possível estimar a tensão de crescimento longitudinal pelo módulo de elasticidade estático, em função da DRL, para os clones de *Eucalyptus* spp., conforme a Equação 1.

$$TCL = E \times DRL / 45 \quad (1)$$

Onde: TCL = tensão de crescimento longitudinal (kgf/cm²); E = módulo de elasticidade estático na condição de saturação (kgf/cm²); DRL = deformação residual longitudinal medida na árvore em pé e viva (mm); 45 = distância entre os dois pinos onde foi medida a deformação (mm).

Índice de rachadura de topo

Para a avaliação do índice de rachadura de topo de tora (IRT) foram abatidas duas árvores de *Eucalyptus* spp. referentes a cada clone, sendo uma árvore por bloco, totalizando 58 árvores. As árvores abatidas foram seccionadas em quatro toras, conforme as posições DAP - 25, 25 - 50, 50 - 75 e 75 - 100% da altura comercial, com diâmetro limite de tronco de 10 cm para essa altura. Os comprimentos das toras seccionadas variaram conforme as alturas comerciais de cada árvore.

A metodologia utilizada para a avaliação do índice de rachadura de topo foi a mesma empregada por Trevisan (2010). As toras foram identificadas em função de sua posição de retirada (altura), de seu sentido base - topo e do clone. Após a identificação, as extremidades das toras foram protegidas com sacos plásticos, vi-

sando minimizar as perdas naturais de umidade e, conseqüentemente, os efeitos da secagem ao ar livre no desenvolvimento de rachaduras.

As toras protegidas por sacos plásticos permaneceram no mesmo local, por um período de cinco dias (120 horas), sem sofrer qualquer movimentação, conforme a metodologia proposta por Hillis (1984) e Purnell (1988). Ao fim desse período, foram retirados os sacos plásticos das extremidades e realizadas as medições das rachaduras de topo presentes nas toras. Foram medidos, com auxílio de um paquímetro digital de 0,01 mm de precisão, o comprimento das rachaduras na seção transversal (medula-casca) e a abertura máxima na ponta grossa e ponta fina das toras (Figura 2).

Para o cálculo dos índices de rachaduras de topo, utilizou-se a metodologia descrita por Lima (2000), que consiste na mensuração direta de cada rachadura de topo de tora, sem atribuição de pesos (Equação 2).

$$IRT = 200 \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i C_i}{\pi D^2} \right) \quad (2)$$

Onde: IRT= índice de rachadura de topo, %; a_i = abertura máxima da rachadura (i = 1...n), cm; C_i = comprimento da rachadura (medula-casca), cm; D = diâmetro médio da seção de corte, cm.

Análise estatística

As variáveis utilizadas no presente estudo foram submetidas a análise de variância (ANOVA) considerando o valor de p=0,05. As médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro. Para avaliar a correlação entre DRL, TCL e o IRT, foram determinados a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r).



(a)



(b)

Figura 2. Avaliação dos índices de rachaduras de topo das toras de *Eucalyptus* spp.; (a) comprimento das rachaduras na seção transversal; (b) abertura máxima no topo das toras..

Figure 2. Evaluation of log end splitting of *Eucalyptus* spp.; (a) length of splitting in the cross section; (b) maximum aperture at the top of the logs.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Deformação residual longitudinal

A DRL média encontrada para os 29 clones de *Eucalyptus* spp., em árvores em pé e vivas, foi de 0,147 mm (Tabela 2). Como os níveis dessa variável têm grande influência na produção madeireira, alguns clones se destacaram por apresentar valores menores para essa variável, como é caso do clone 72 (*E. urophylla* x *E. globulus*), que apresentou 0,094 mm. Já o clone 27 (*E. urophylla* x *E. grandis*) mostrou elevados valores, atingindo 0,316 mm de deformação, conforme a Tabela 2.

Os valores médios encontrados no presente estudo estão acima dos valores descritos por Pádua et al. (2004), que encontraram valores de 0,069 mm para *Eucalyptus* spp., aos 8,6 anos de idade. Da mesma forma, Lima et al. (2004) e Muneri et al. (2000) encontraram valores menores para a DRL, em *Eucalyptus*.

No entanto, deve ser levado em consideração que as variações das deformações podem estar relacionadas a diversos fatores, como genética, idades, locais de avaliação, equipamentos de mensuração, contribuindo para a ocorrência dessa diferença (TRUGILHO, 2005).

Índice de rachaduras de topo

Por meio dos resultados obtidos na Tabela 3, pode-se observar diferenças significativas entre

os clones de *Eucalyptus* spp., entre as posições de retirada das toras na árvore e para as posições da seção transversal (ponta grossa e ponta fina) em função dos IRTs das toras. Em relação aos blocos, os IRTs não apresentaram diferenças significativas em nível de 5% de probabilidade de erro.

Diante dos resultados obtidos (Tabela 4), pode-se verificar uma grande variação dos valores de IRT para os clones de *Eucalyptus* spp. O valor médio obtido para o IRT foi de 0,46 %. O clone 8 (*E. urophylla* x *E. grandis*), pertencente ao grupo 1, apresentou o menor IRT, 0,14 %. Já o maior IRT foi verificado para o clone 27 (*E. urophylla* x *E. grandis*), 1,23 %.

Lima et al. (2000), utilizando a mesma metodologia para a determinação das rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis*, encontraram valores de IRT variando de 0,49 %, em testemunhas sem aplicação de desbaste, a 0,80 %, quando submetidas a desbaste. Diante disso, verifica-se que os valores de IRT do presente estudo corroboram os valores descritos pelo autor, para plantios sem aplicação de desbaste. Entretanto, Lima et al. (2007) encontraram valores de 0,89, 0,74 e 0,79 % para IRT, em povoaamentos de *E. grandis*, com 21 anos de idade, que sofreram diferentes intensidades de desbastes. Já resultados encontrados por Trevisan (2010) demonstram valores de IRT variando entre 1,1 e 1,6 %, para árvores pertencentes aos extratos centrais e dominantes de *E. grandis*.

Tabela 2. Valores médios das leituras da deformação residual longitudinal (DRL) para os clones de *Eucalyptus* spp.
Table 2. Readings of mean values of longitudinal residual strain (DRL) for *Eucalyptus* spp. clones.

| Clones | Grupos | DRL 1* (mm) | DRL 2* (mm) | DRL Média (mm) |
|--------------|--------|--------------|--------------|----------------|
| 8 | 1 | 0,093 | 0,112 | 0,103 a** |
| 9 | 1 | 0,135 | 0,118 | 0,127 a |
| 12 | 1 | 0,094 | 0,132 | 0,113 a |
| 26 | 1 | 0,082 | 0,160 | 0,121 a |
| 29 | 1 | 0,156 | 0,166 | 0,161 b |
| 31 | 1 | 0,108 | 0,098 | 0,103 a |
| 33 | 1 | 0,133 | 0,154 | 0,144 b |
| 34 | 1 | 0,108 | 0,132 | 0,120 a |
| 35 | 1 | 0,109 | 0,129 | 0,119 a |
| 53 | 1 | 0,091 | 0,134 | 0,113 a |
| 54 | 1 | 0,114 | 0,107 | 0,110 a |
| 64 | 1 | 0,139 | 0,159 | 0,149 b |
| 68 | 1 | 0,085 | 0,104 | 0,095 a |
| 72 | 1 | 0,082 | 0,106 | 0,094 a |
| 73 | 1 | 0,195 | 0,266 | 0,231 c |
| 1 | 2 | 0,173 | 0,222 | 0,198 c |
| 3 | 2 | 0,118 | 0,135 | 0,127 a |
| 10 | 2 | 0,183 | 0,259 | 0,221 c |
| 11 | 2 | 0,189 | 0,215 | 0,202 c |
| 13 | 2 | 0,121 | 0,125 | 0,123 a |
| 14 | 2 | 0,142 | 0,152 | 0,147 b |
| 21 | 2 | 0,129 | 0,165 | 0,147 b |
| 24 | 2 | 0,139 | 0,135 | 0,137 b |
| 25 | 2 | 0,154 | 0,173 | 0,164 c |
| 27 | 2 | 0,276 | 0,356 | 0,316 d |
| 7 | 3 | 0,131 | 0,229 | 0,180 c |
| 16 | 3 | 0,116 | 0,084 | 0,100 a |
| 22 | 3 | 0,126 | 0,164 | 0,145 b |
| 23 | 3 | 0,127 | 0,153 | 0,140 b |
| Média | - | 0,133 | 0,160 | 0,147 |

Onde: *DRL 1, 2: posições de mensuração da DRL ao redor do tronco da árvore, no sentido da linha de plantio; ** Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A comparação de médias para IRT, apresentada na Tabela 5, evidencia diferenças significativas entre as posições da secção transversal (ponta grossa e ponta fina) e entre as posições de retirada das toras.

Analisando os resultados do IRT nas posições ponta grossa e ponta fina, observa-se que os maiores índices de rachaduras foram encontrados na ponta grossa das toras. Já em relação à posição de retirada das toras, a Tora 1 apresentou os maiores valores de rachaduras de topo, juntamente com a Tora 2. Deve-se levar em consideração que as amplitudes entre as médias da ponta grossa e ponta fina das toras e as posições das toras 1, 2, 3 e 4 apresentaram uma tendência de decréscimo com a altura da árvore.

Trevisan (2010), estudando o índice de rachadura de topo, em toras de *Eucalyptus grandis*, aos 18 anos de idade, para árvores dominantes e centrais, não encontrou diferença estatística para as posições ponta grossa - ponta fina, em relação à média geral. Já para as posições de retirada das toras, identificou diferenças significativas, tanto nas toras dominantes quanto nas centrais, e entre extratos amostrados. Lima (2000) relata que a influência da posição ao longo da altura da árvore no índice de rachadura, implica no aumento da parte central das árvores à tendência de melhor orientação da grã nessa região. Da mesma forma, Adorno (2002) encontrou diferenças entre as toras para a característica rachadura de extremidade de tora, para

Tabela 3. Resumo da análise de variância dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT), posições de retirada das toras na árvore e posições da secção transversal da tora (ponta grossa e ponta fina) para os clones de *Eucalyptus* spp.

Table 3. Analysis of variance of log end splitting (IRT), logs' cutting positions in the tree and cross section positions of the log (small and large end) of *Eucalyptus* spp. clones.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob.>F |
|---------|-----|---------|---------|-------|-----------|
| Clones | 28 | 42,3777 | 1,5134 | 12,73 | < 0,0001* |
| Blocos | 1 | 0,10837 | 0,10837 | 0,91 | 0,3403NS |
| Toras | 3 | 10,3202 | 3,4401 | 28,92 | < 0,0001* |
| Posição | 1 | 0,84369 | 0,8436 | 7,09 | < 0,007* |
| Erro | 429 | 51,0244 | 0,1189 | - | - |
| Total | 462 | 104,708 | - | - | - |

Onde: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; * Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade; NS = não significativo.

Tabela 4. Valores médios dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT) para os clones de *Eucalyptus* spp.

Table 4. Mean values of readings of log end splitting (IRT) for *Eucalyptus* spp. clones.

| Clones | Grupos | IRT (%) |
|--------|--------|---------|
| 8 | 1 | 0,14 a* |
| 9 | 1 | 0,28 a |
| 12 | 1 | 0,24 a |
| 26 | 1 | 0,31 a |
| 29 | 1 | 0,92 c |
| 31 | 1 | 0,23 a |
| 33 | 1 | 0,22 a |
| 34 | 1 | 0,24 a |
| 35 | 1 | 0,29 a |
| 53 | 1 | 0,34 a |
| 54 | 1 | 0,18 a |
| 64 | 1 | 0,25 a |
| 68 | 1 | 0,15 a |
| 72 | 1 | 0,39 a |
| 73 | 1 | 0,94 c |
| 1 | 2 | 0,22 a |
| 3 | 2 | 0,64 b |
| 10 | 2 | 1,15 d |
| 11 | 2 | 0,72 b |
| 13 | 2 | 0,29 a |
| 14 | 2 | 0,79 b |
| 21 | 2 | 0,40 a |
| 24 | 2 | 0,52 a |
| 25 | 2 | 0,48 a |
| 27 | 2 | 1,23 d |
| 7 | 3 | 0,61 b |
| 16 | 3 | 0,17 a |
| 22 | 3 | 0,60 b |
| 23 | 3 | 0,38 a |
| Médias | - | 0,46 |

Onde: *Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

E. grandis, ainda que a mesma tendência não tenha sido observada em *E. urophylla*, ambos com oito anos de idade.

Em estudo realizado por Malan (1984), onde o modelo de variação longitudinal para *Eucalyptus grandis* foi avaliado, evidenciou-se um aumento do índice de rachadura, até 4,8 metros de altura, com posterior declínio até o topo das árvores. Já os resultados divulgados por Chafe (1981), para *E. regnans*, demonstraram uma tendência ascendente das tensões de crescimento e, conseqüentemente, das rachaduras no sentido base-topo, embora não comprovada estatisticamente. Segundo o mesmo autor, os níveis de tensão foram superiores nas proximidades do ápice das árvores, onde as toras estão mais susceptíveis às rachaduras, uma vez que as tensões são distribuídas em um menor diâmetro de tora.

Os resultados encontrados para IRT, para os três grupos de clones, evidenciaram um compor-

tamento semelhante ao obtido para DRL, tendo os menores valores de IRT os clones do grupo 1, seguidos daqueles do grupo 3. Já os clones pertencentes ao grupo 2 apresentaram os níveis mais elevados de DRL e, conseqüentemente, de IRT, como mostra a Figura 3.

Diante disso, pode-se constatar que os clones do grupo 1 e do grupo 3 podem ser identificados como ideais a serem selecionados para programas de melhoramento florestal, quando o objetivo for obter baixos índices de rachaduras.

Estimativa da tensão de crescimento

Por meio de ensaios de laboratório, estimou-se a tensão de crescimento longitudinal (TCL), propriamente dita, para os clones de *Eucalyptus* spp., em razão da deformação residual longitudinal (DRL), e do módulo de elasticidade estático (E) na condição saturada, descritos na Tabela 6

Tabela 5. Comparação de médias dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT), referentes às posições da seção transversal na tora (ponta grossa e ponta fina) e a posições de retirada das toras de *Eucalyptus* spp.
Table 5. Comparison on means of log end splitting (IRT) according to the positions of the cross section on the log (small and large end) and cutting positions of *Eucalyptus*.

| Posição | IRT (%) | | | | Média |
|--------------|----------------------|---------|---------|---------|-------|
| | Tora 1 | Tora 2 | Tora 3 | Tora 4 | |
| Ponta grossa | 0,47 Bb ¹ | 0,71Aa | 0,49 Ab | 0,30 Ac | 0,49 |
| Ponta fina | 0,75 Aa | 0,43 Bb | 0,31 Bb | 0,15 Bc | 0,41 |
| Média | 0,61 a | 0,572 a | 0,40 b | 0,23 c | 0,45 |

Onde: ¹ Médias seguidas de letras diferentes na coluna, em maiúsculo, para comparação entre ponta grossa e ponta fina de cada tora, e médias seguidas de letras diferentes na linha, em minúsculo, para comparação entre as posições de retirada das toras, diferem estatisticamente pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

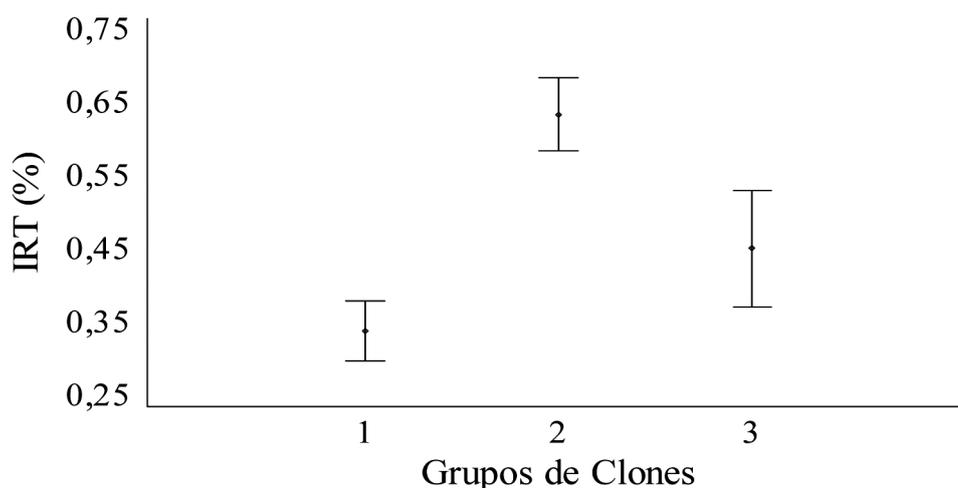


Figura 3. Valores médios do índice de rachaduras de topos de toras (IRT) para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si, pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

Figure 3. Mean values of the log end splitting (IRT) for the three groups of *Eucalyptus* spp. clones. Means followed by the same letter do not differ by Fisher's DMS test (least significant difference - $\alpha = 5\%$).

Através do exposto na Tabela 6, pode-se observar que o clone 72 (*E. urophylla* x *E. globulus*) obteve o menor valor para a estimativa da tensão de crescimento. Dessa forma, clones com baixos níveis de tensões podem ser recomendados para programas de melhoramento florestal, visando à produção de madeira sólida. Todavia, o clone 27 (*E. urophylla* x *E. grandis*) mostrou a maior DRL do estudo e, logo, o maior valor de TCL (602,8 kgf/cm²).

Por meio da Figura 4, verifica-se que os valores médios estimados para a TCL, na forma de grupos, apresentaram diferenças estatísticas. Com isso, pode-se observar que os clones pertencentes ao grupo 1 demonstraram os menores valores,

corroborando os valores apresentados para a DRL na forma de grupos. Já os valores médios, obtidos para os clones pertencentes aos grupos 2 e 3 apresentaram as maiores estimativas para a TCL.

Correlações entre DRL, TCL e IRT

A análise de correlação entre as variáveis do estudo (Tabela 7), demonstra que a DRL e TCL apresentaram correlações positivas e significativas com o IRT. Essa correlação evidencia que quanto maiores os níveis de DRL nas árvores, maiores serão os índices de rachadura e vice-versa. Com isso, é possível prever a tendência do IRT fazendo-se, no campo, a avaliação da DRL, tornando-se esta variável uma ferramenta

Tabela 6. Estimativas da tensão de crescimento longitudinal pelo módulo de elasticidade estático (TCL) para os clones de *Eucalyptus* spp.

Table 6. Estimates of longitudinal growth stresses through static modulus of elasticity (TCL) for *Eucalyptus* spp. clones.

| Clones | Grupos | DRL (mm) | E (kgf/cm ²) | TCL (kgf/cm ²) |
|--------|--------|----------|--------------------------|----------------------------|
| 8 | 1 | 0,103 | 104720 | 239,1 a* |
| 9 | 1 | 0,127 | 92604 | 261,3 b |
| 12 | 1 | 0,113 | 83337 | 209,8 a |
| 26 | 1 | 0,121 | 87174 | 235,2 a |
| 29 | 1 | 0,161 | 103164 | 368,9 c |
| 31 | 1 | 0,103 | 105887 | 241,1 a |
| 33 | 1 | 0,144 | 95776 | 306,1 b |
| 34 | 1 | 0,120 | 87725 | 231,3 a |
| 35 | 1 | 0,119 | 85828 | 228,8 a |
| 53 | 1 | 0,113 | 98096 | 245,3 a |
| 54 | 1 | 0,110 | 76580 | 187,6 a |
| 64 | 1 | 0,149 | 87122 | 288,5 b |
| 68 | 1 | 0,095 | 111892 | 235,9 a |
| 72 | 1 | 0,094 | 68328 | 142,3 a |
| 73 | 1 | 0,231 | 96027 | 492,9 d |
| 1 | 2 | 0,198 | 87585 | 385,3 c |
| 3 | 2 | 0,127 | 99084 | 279,6 b |
| 10 | 2 | 0,221 | 96917 | 476,7 d |
| 11 | 2 | 0,202 | 77648 | 347,7 c |
| 13 | 2 | 0,123 | 93721 | 257,1 b |
| 14 | 2 | 0,147 | 93789 | 306,5 b |
| 21 | 2 | 0,147 | 87169 | 284,6 b |
| 24 | 2 | 0,137 | 116756 | 355,4 c |
| 25 | 2 | 0,164 | 74497 | 270,8 b |
| 27 | 2 | 0,316 | 85273 | 602,8 e |
| 7 | 3 | 0,180 | 105495 | 422,4 c |
| 16 | 3 | 0,100 | 101733 | 226,6 a |
| 22 | 3 | 0,145 | 115399 | 372,6 c |
| 23 | 3 | 0,140 | 90146 | 280,5 b |
| Média | - | 0,147 | 93358 | 303,5 |

Onde: DRL: deformação residual longitudinal (mm); E = módulo de elasticidade a flexão estática na condição saturada, corrigido em função do cisalhamento; *Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

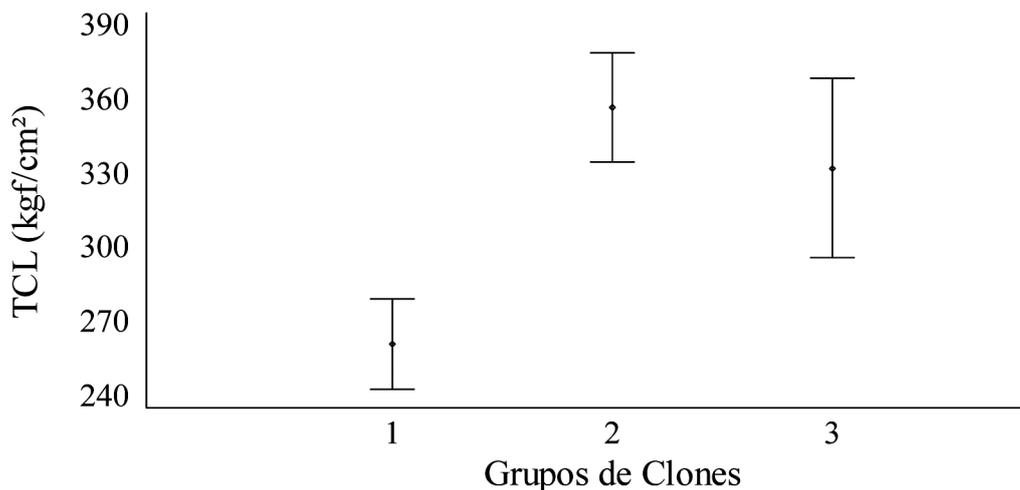


Figura 4. Estimativa dos valores médios da tensão de crescimento longitudinal (TCL) pelo módulo de elasticidade estático, para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si, pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

Figure 4. Estimate of mean values of longitudinal growth stresses (TCL) trough static modulus of elasticity (TCL) for the three groups of *Eucalyptus* spp. clones. Means followed by the same letter do not differ by Fisher's DMS test (least significant difference - $\alpha = 5\%$).

Tabela 7. Correlação de Pearson entre as variáveis do estudo.

Table 7. Pearson's correlation among study variables.

| | DRL | TCL | IRT |
|-----|-----|--------|--------|
| DRL | 1 | 0,808* | 0,708* |
| TCL | | 1 | 0,755* |
| IRT | | | 1 |

Sendo: DRL = deformação residual longitudinal (mm); TCL = tensão de crescimento longitudinal estimada pelo módulo de elasticidade estático (kgf/cm²); IRT = índice de rachadura de topo de tora (%); * = significativo ao nível de 5% probabilidade de erro.

confiável para a seleção de clones menos propensos ao desenvolvimento de rachaduras. Do mesmo modo, verificaram-se correlações entre a TCL, DRL e o IRT. A correlação entre TCL e DRL já era esperada, pois são variáveis dependentes. O mesmo se observou para a correlação da TCL com a IRT.

Souza (2002), avaliando a DRL e o índice de rachaduras em tábuas de *Eucalyptus* spp., encontrou correlações positivas entre essas variáveis. Da mesma forma, Trugilho (2005) identificou correlações positivas e significativas entre a DRL e o IRT, para clones de *Eucalyptus* spp., aos seis anos de idade. Já Miranda e Nahuz (1999), verificaram em seu estudo a variação da DRL, em clones de *Eucalyptus saligna* com nove anos de idade, entretanto, a DRL apresentou uma correlação positiva e significativa com as rachaduras das toras.

Diante disso, observa-se que, a relação entre as variáveis DRL, TCL e IRT torna-se uma importante estratégia para união de duas ou mais características favoráveis, em um único material genético, visando a produção de madeira de qualidade para os mais diversos usos.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados do presente estudo, pôde-se concluir que:

Os valores médios para a deformação residual longitudinal se mostrou superior às médias encontradas em estudos anteriores. Já os índices de rachaduras de topo em toras apresentaram valores considerados como inferiores;

A alta correlação encontrada entre a deformação residual longitudinal e o índice de rachadura de topo em toras, torna essa variável uma ferramenta importante para a escolha de clones menos propensos ao desenvolvimento de rachaduras. Além disso, o método de avaliação dos clones apresenta facilidade de uso, baixo custo e rapidez na coleta de dados;

Os clones pertencentes ao grupo 1, por apresentarem os menores níveis para a tensão de crescimento longitudinal e, conseqüentemente, os menores índices de rachaduras, podem ser considerados potenciais para programas de melhoramento florestal.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria e à empresa Celulose Riograndense CMPC, pelo apoio e infraestrutura cedida durante a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADORNO, M. F. C. **Propriedades tecnológicas relacionadas com as tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, utilizadas como indicadores para o melhoramento da madeira serrada.** 2002. 164 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ASSIS, T. F. Qualificação tecnológica da madeira de *Eucalyptus* para serraria: Aspectos genéticos e de manejo. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000. Santa Maria, Anais... Santa Maria: UFSM, 2000. p. 59-80.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. **D 143-94: Standard methods of testing small clear specimens of timber**, Philadelphia, 2000.
- BODIG, J.; JAYNE, B. **Mechanics of wood and wood composites.** Nova York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1982. 712 p.
- CHAFE, S. C. Variation in longitudinal growth stress basic density and modulus of elasticity with height in the Tree. **Australian Forest Research**, Camberra, v. 11, p. 79-82, 1981.
- HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.
- HILLIS, W. E. Wood quality and utilization. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.). ***Eucalypts for wood production.*** Sydney: CSIRO/Academic Press, 1984. p. 159-289.
- LIMA, I. L. **Variação de propriedades indicativas da tensão de crescimento em função da posição na árvore e da intensidade de desbaste.** 2000. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; NOGUEIRA, M. C. S. Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 111-125, 2000.
- LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R.; VIEIRA, R. S. Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, 2007.
- LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformações residuais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.
- MALAN, F. S. **Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African, grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex maiden).** 1984. 258 p. Thesis (Doctor of philosophy Wood Science). University Stellenbosch, Stellenbosch, 1984.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada.** Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297 p.
- MIRANDA, M. J. A. C.; NAHUIZ, M. A. R. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith nos índices de rachamento após o desdobro e após a secagem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 107-116, 1999.
- MUNERI, A.; KNIGHT, J.; LEGATE, W.; PALMER, G. Relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 years old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In: IUFRO CONFERENCE – THE FUTURE OF EUCALYPTUS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000. p. 292-300.

- PÁDUA, F. A.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T.; CARDOSO JÚNIOR, A. A.; OLIVEIRA, A. C. Estimativa de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 152-160, 2004.
- PURNELL, R.C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on the eastern Transvaal highveld in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 144, p. 10-22, 1988.
- ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 70-83, jul./set. 2002.
- SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento de madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 32-43, 2003.
- SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influencia da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3. p. 455-460, 2005.
- SOUZA, M. A. M. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- TREVISAN, R. **Efeito do desbaste nos parâmetros dendrométricos e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010. 174 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 123 p. Tese (Pós Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2005.
- TRUGILHO, P. F.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M. P.; MATOS, J. L. M.; SALDANHA, L. K. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n.5, p. 725-731, 2004.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; SOUZA, M. A. M. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 38-44, 2002.

Recebido em 21/10/2013
Aceito para publicação em 20/09/2014