

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS  
GENÉTICOS, FENOTÍPICOS E AMBIENTAIS  
PARA A QUALIDADE DA MADEIRA DE  
*EUCALYPTUS* EM ÁRVORES VIVAS**

**ÉRICA DE ALVARENGA CRESPO RODRIGUES**

**2007**

**ÉRICA DE ALVARENGA CRÊSPO RODRIGUES**

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS, FENOTÍPICOS E  
AMBIENTAIS PARA A QUALIDADE DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*  
EM ÁRVORES VIVAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras  
como parte das exigências do curso de doutorado  
em Engenharia Florestal, Área de concentração em  
florestas de produção, para a obtenção do título de  
“Doutor”.

Orientador  
Prof. PhD. Sebastião Carlos da Silva Rosado

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Rodrigues, Érica de Alvarenga Crespo.

Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas. / Érica de Alvarenga Crespo Rodrigues . -- Lavras : UFLA, 2007.

83 p. : il.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. *Eucalyptus*. 2. Amostragem. 3. Conicidade. 4. Achatamento. 5. Retratibilidade. 6. Encurvamento. 7. Arqueamento. 8. Rachadura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.97342

**ÉRICA DE ALVARENGA CRÊSPO RODRIGUES**

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS, FENOTÍPICOS E  
AMBIENTAIS PARA A QUALIDADE DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*  
EM ÁRVORES VIVAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras  
como parte das exigências do curso de doutorado  
em Engenharia Florestal, área de concentração em  
florestas de produção, para a obtenção do título de  
“Doutor”.

Aprovada em 08 de março de 2007

Prof. Dr. José Nivaldo Garcia ESALQ

Prof. Dr. José Tarcisio Lima UFLA

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho UFLA

Prof. Dr. Tarcisio de Moraes Gonçalves UFLA

Prof. PhD. Sebastião Carlos da Silva Rosado  
UFLA  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007**

*Ao meu filho Gabriel, por proporcionar os melhores momentos já  
vividos em minha vida...  
Ao meu marido Lúcio, que suportou minhas ausências e me  
incentivou nas horas difíceis.*

**DEDICO**

*A minha mãe, Maria Angelina, por estar sempre presente, me apoiando, incentivando e vibrando comigo em cada nova etapa alcançada.*

*Ao meu pai Hiran, pelos exemplos e valores deixados.  
Ao meu irmão Luiz Cláudio, pelas sugestões sempre oportunas.*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de todo poder, amor e justiça.

Ao próprio destino, que colocou as oportunidades diante de mim para que eu pudesse atuar e progredir profissionalmente.

À Companhia Mineira de Metais, Votorantin-Agro, pela concessão do material genético.

Ao professor Sebastião Carlos da Silva Rosado, orientador deste trabalho.

Aos professores Paulo Fernando Trugilho e José Tarcísio Lima, pela co-orientação, amizade e disponibilidade. E pelas valiosas considerações durante o desenvolvimento de toda parte experimental.

Ao professor Tarcísio de Moraes Gonçalves, pelas sugestões sempre oportunas e pela disponibilidade.

Ao Professor José Nivaldo Garcia, pela amizade, disponibilidade em participar da banca de defesa, críticas e informações que enriqueceram este trabalho.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Bruno, pela contribuição durante a execução do experimento.

Ao colega e amigo Adelson, que muito me auxiliou na obtenção dos dados.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais, em especial a Chica, Terezinha e Rose.

Ao José Lopes, Zé Fazenda, Gilson e Hernani, pela ajuda na serraria, desdobrando toda a madeira e na marcenaria, confeccionando os corpos-de-prova.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, colaboraram para que esta vitória fosse possível.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS, FENOTÍPICOS E AMBIENTAIS PARA A QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> EM ÁRVORES VIVAS .....	v
RESUMO GERAL .....	v
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
CAPÍTULO 1.....	6
MELHORAMENTO GENÉTICO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i> PELA SELEÇÃO CONDUZIDA EM ÁRVORES VIVAS .	6
RESUMO.....	7
CHAPTER 1 .....	8
GENETIC IMPROVEMENT OF THE <i>Eucalyptus</i> WOOD BASIC DENSITY BY SELCTION CONDUCTED IN LIVING TREE .....	8
ABSTRACT .....	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	13
2.1 Amostragem não destrutiva na árvore viva .....	13
2.1.1 Amostragem não destrutiva com o extensômetro.....	13
2.1.2 Amostragem não destrutiva utilizando o resistógrafo.....	15
2.1.3 Amostragem não destrutiva - conicidade e achatamento.....	16
2.1.3.1 Conicidade .....	17
2.1.3.2 Achatamento .....	18
2.2 Amostragem destrutiva para a determinação da densidade básica .....	19
2.3 Análises de regressão.....	19



2.4 Análises estatísticas .....	20
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
3.1 Modelos para a estimativa da densidade básica da madeira .....	24
3.2 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para as características não destrutivas avaliadas em árvores vivas .....	27
3.3 Estimativas das correlações e previsões de ganhos genéticos .....	32
3.4 Média de genótipos .....	35
4 CONCLUSÃO .....	38
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
CAPÍTULO II .....	43
MELHORAMENTO GENÉTICO DA QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA DE <i>EUCALYPTUS</i> PELA SELEÇÃO CONDUZIDA EM ÁRVORES VIVAS .....	43
RESUMO .....	44
CHAPTER II .....	45
GENETIC IMPROVEMENT OF THE <i>Eucalyptus</i> SAWN WOOD QUALITY BY SELCTION CONDUCTED IN LIVING TREE .....	45
ABSTRACT .....	46
1 INTRODUÇÃO .....	47
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	50
2.1 Características não destrutivas avaliadas na árvore viva .....	50
2.2 Defeitos da madeira serrada .....	50
2.2.1 Desdobro das toras .....	50
2.2.2 Obtenção dos dados de defeitos da madeira serrada .....	51
2.2.2.1 Encurvamento e arqueamento .....	51
2.2.2.2 Rachadura na madeira serrada .....	52
2.3 Análise dos dados .....	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53

3.1 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para os defeitos da madeira serrada .....	53
3.2 Estimativas das correlações e previsões de ganhos genéticos .....	54
3.3 Média de genótipos.....	56
3.4 Correlações e ganhos genéticos entre as características não destrutivas avaliadas em árvores vivas e os defeitos da madeira serrada .....	57
4 CONCLUSÕES .....	60
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
CAPÍTULO III.....	63
MELHORAMENTO GENÉTICO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> PELA SELEÇÃO CONDUZIDA EM ÁRVORES VIVAS .....	63
RESUMO.....	64
CHAPTER III.....	65
GENETIC IMPROVEMENT OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF <i>Eucalyptus</i> WOOD BY SELECTION CONDUCTED IN LIVING TREES. ....	65
ABSTRACT .....	66
1 INTRODUÇÃO .....	67
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	69
2.1 Características não destrutivas avaliadas na árvore viva .....	69
2.2 Avaliação da densidade básica, das contrações radial, tangencial, volumétrica e do coeficiente de anisotropia.....	69
2.2.1 Densidade básica.....	69
2.2.2 Retratibilidade da madeira.....	70
2.3 Análise dos dados .....	70
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
3.1 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para as propriedades físicas da madeira.....	72

3.2 Estimativas das correlações e ganhos genéticos nas propriedades físicas da madeira .....	75
3.3 Média de genótipos.....	76
3.4 Correlações e ganhos genéticos entre as características não destrutivas, avaliadas na árvore viva e as propriedades físicas da madeira .....	77
4 CONCLUSÕES .....	80
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Extensômetro em aplicação para a obtenção de dados de deformações residuais longitudinais (DRL) de <i>Eucalyptus</i> .....	15
FIGURA 2 Resistógrafo em aplicação para a obtenção de dados de resistência mecânica à penetração da broca na madeira de <i>Eucalyptus</i> .....	16
FIGURA 3 Método utilizado para determinar a conicidade da tora .....	17
FIGURA 4 Achatamento da tora .....	18

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	6
TABELA 1 Produção volumétrica dos clones de <i>Eucalyptus</i> utilizados no presente estudo .....	14
TABELA 2 Estrutura da análise de variância para a amostragem não destrutiva e destrutiva da madeira .....	21
TABELA 3 Modelos para estimativa da densidade básica (DB) média da madeira em árvores vivas, com base nas amplitudes fornecidas pelo resistógrafo na direção entre linha ( $A_{EL}$ ), dentro da linha de plantio ( $A_{DL}$ ) e média nas duas direções ( $A_M$ ) .....	25
TABELA 4 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para as características não destrutivas avaliadas na árvore viva de <i>Eucalyptus</i> spp .....	29
TABELA 5 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genotípica ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), entre características não destrutivas avaliadas na árvore viva .....	34
TABELA 6 Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%), para as características não destrutivas avaliadas na árvore viva .....	35
TABELA 7 Valores médios de clones de <i>Eucalyptus</i> spp para as características não destrutivas avaliadas na árvore viva .....	37

<b>CAPÍTULO II</b> .....	43
TABELA 1 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para os defeitos da madeira serrada de <i>Eucalyptus</i> spp .....	54
TABELA 2 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genética ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), para os defeitos da madeira serrada de <i>Eucalyptus</i> spp .....	55
TABELA 3 Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%) quando a seleção for feita para os defeitos da madeira serrada de <i>Eucalyptus</i> spp .....	56
TABELA 4 Valores médios de clones de <i>Eucalyptus</i> spp para os defeitos da madeira serrada .....	57
TABELA 5 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genética ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), entre as características não destrutivas avaliada na árvore viva e os defeitos da madeira serrada .....	58
TABELA 6 Ganho genético direto (GD), indireto (GI) e eficiência de seleção indireta (ESI) entre as características não destrutivas avaliadas na árvore viva e defeitos da madeira serrada .....	59

<b>CAPÍTULO III</b> .....	63
TABELA 1 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para a densidade básica, contrações radiais, tangenciais, volumétricas e para o coeficiente de anisotropia de clones de <i>Eucalyptus</i> spp .....	73
TABELA 2 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genética ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), entre as propriedades físicas da madeira .....	76
TABELA 3 Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%) para as propriedades físicas da madeira .....	76
TABELA 4 Valores médios de clones de <i>Eucalyptus</i> spp para as propriedades físicas da madeira .....	77
TABELA 5 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genética ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), entre as propriedades físicas da madeira com as características não destrutivas avaliadas na árvore viva ) .....	78
TABELA 6 Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%) quando a seleção for feita nas características não destrutivas avaliadas na árvore viva e propriedades físicas da madeira .....	79

# ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS, FENOTÍPICOS E AMBIENTAIS PARA A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus* EM ÁRVORES VIVAS

## RESUMO GERAL

RODRIGUES, Érica de Alvarenga Crespo. Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas. 2007. 102 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil<sup>1</sup>.

A avaliação das características tecnológicas da madeira, na maioria das vezes, é realizada por meio de métodos destrutivos. Porém, esse processo impossibilita a avaliação de um grande número de materiais genéticos. Assim, a utilização de métodos não destrutivos possibilita avaliar uma grande quantidade de árvores, permitindo a seleção mais intensa de árvores desejáveis para a reprodução em massa e para uso na formação de florestas clonais. Dessa forma, a procura por métodos de avaliação das propriedades da madeira de forma não destrutiva deve ser intensificada. Os objetivos do presente estudo foram de avaliar métodos de amostragem não destrutiva na madeira de árvores vivas, bem como avaliar as possibilidades de obtenção de ganhos indiretos nas propriedades físicas da madeira e no rendimento de madeira serrada, pela seleção em características avaliadas de forma não destrutiva. Foram utilizados 13 clones de *Eucalyptus* com 10 anos de idade, cultivados no espaçamento de 10,0 x 4,0m. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As medições não destrutivas foram executadas por meio do extensômetro e do resistógrafo. Após a quantificação dessas características, foram avaliadas a conicidade, o achatamento da tora, os defeitos da madeira serrada, a retratibilidade e a densidade básica. Verificou-se que o modelo linear ofereceu equações mais precisas para estimar a densidade básica. A herdabilidade para as amplitudes entre linhas de plantio ( $A_{EL}$ ), amplitudes dentro das linhas de plantio ( $A_{DL}$ ), amplitudes médias ( $A_M$ ) e densidade básica estimada ( $DB_{Est}$ ) foram altas e da ordem de 93%, 89%, 94% e 93%, respectivamente. Verificou-se alto valor de herdabilidade para rachadura (84%) e médios valores para o arqueamento (41%) e encurvamento (62%). A amplitude foi altamente

---

<sup>1</sup> Comitê de orientação – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Orientador), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – orientador), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-orientador)



correlacionada com o arqueamento e com a rachadura da madeira serrada. Os ganhos indiretos nessas características foram expressivos quando a seleção foi realizada na amplitude. Verificou-se que os ganhos genéticos indiretos na contração radial podem ser eficientemente alcançados quando se seleciona para densidade básica. Observa-se também que os ganhos genéticos indiretos na densidade básica podem ser alcançados quando se seleciona para a amplitude, fornecida pelo resistógrafo, ou para a densidade básica estimada pela amplitude. O resistógrafo mostrou-se eficiente para avaliar e selecionar materiais genéticos no campo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, amostragem, conicidade, achatamento, retratibilidade, encurvamento, arqueamento e rachadura.

# ESTIMATION OF GENETIC, PHENOTYPIC AND ENVIRONMENTAL PARAMETERS FOR *Eucalyptus* WOOD QUALITY IN LIVING TREES

## GENERAL ABSTRACT

RODRIGUES, Érica de Alvarenga Crespo. Estimation of genetic, phenotypic and environmental parameters for *Eucalyptus* wood quality in living trees. 2007. 102 p. Thesis. (Doctorate in Forestry)-Federal University of Lavras, MG. Brazil<sup>1</sup>.

The evaluation of the technological characteristics of wood, in most times, is accomplished through destructive methods. But, that process make it impossible the evaluation of a large number of genetic materials. So, the utilization of non-destructive methods makes it possible to evaluate a large amount of trees, allowing a more intensive selection of trees desirable for mass reproduction and for use in the formation of clonal forests. Thus, the search for non-destructive methods for evaluation of wood properties must be intensified. The objectives of the present study were *i*) to evaluate the non-destructive sampling methods of wood in living trees; *ii*) to evaluate the possibilities of obtaining indirect gains in the physical properties of wood and in the sawn wood yield by non-destructive method. For this, 13 *Eucalyptus* clones aged 10 years cultivated at the spacing of 10.0 x 4.0m. The experiment was established in a completely randomized design with three replicates. The non-destructive measurements were performed by means of the extensometer and Resistograph, measuring DRL and the Amplitude, respectively. After the quantification of those characteristics, logs conicity, circularity, sawn wood defects, shrinkage and basic density were evaluated. It was verified that the linear model offered most precise equations to estimate the basic density. The heritability for the Amplitudes between planting row ( $A_{EL}$ ), Amplitudes within planting row ( $A_{DL}$ ), mean Amplitudes ( $A_M$ ) and estimated basic density ( $DB_{Est}$ ) were high and of the order of 93, 89, 94 and 93%, respectively. A high value of heritability for splitting (84%) and mean values for crook (41%) and bowing (62%) was verified. The Amplitude was highly correlated with crook and splitting of sawn wood. The indirect gains in those characteristics were expressive when selection was conducted in the Amplitude. It was verified that the indirect genetic gains in the radial contraction

---

<sup>1</sup> Guidance committee – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Adviser), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – adviser), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-adviser)

can be effectively reached when selecting for basic density. It was observed, also, that the indirect genetic gains in basic density can be reached when selecting for Amplitude, determined by the Resistograph or for the basic density estimated by the Amplitude. The Resistograph proved to be effective to evaluate and select genetic materials in the field.

Key words: *Eucalyptus*, sampling, conicity, circularity, shrinkage, bowing, crook and splitting.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A atividade de reflorestamento e os produtos por ela gerados têm contribuído para a modificação do quadro econômico de várias regiões brasileiras, onde, historicamente, predominam as atividades agrícolas tradicionais. Exemplo disso são as várias empresas florestais que atuam no Rio Grande do Sul que implantaram um amplo programa de reflorestamento com *Eucalyptus* com o objetivo de fornecer matéria-prima para a produção de celulose e para as indústrias madeireiras, localizadas, principalmente, nos pólos moveleiros.

Em Minas Gerais, áreas tradicionais de pastagens, principalmente as degradadas, estão sendo utilizadas para os plantios florestais. Em alguns casos, áreas tradicionalmente cultivadas com café estão sendo substituídas pelo eucalipto.

O último relatório anual da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF), referente ao ano de 2005, relata que o Brasil possui uma área da ordem de 5,2 milhões de hectares de florestas plantadas com pinus e eucalipto concentradas, principalmente, nos estados de Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo e Bahia. O estado de Minas Gerais detém a maior área reflorestada do Brasil, no total de 1.216.744 ha, dos quais o *Eucalyptus* participa com 87%, ou seja: 1.058.567 ha (ABRAF, 2006).

O uso desse gênero tem se destacado sobre os demais, em função dos seguintes aspectos (Rosado et al., 2002):

- i) dezenas de espécies de *Eucalyptus* apresentam grande adaptação e crescimento em diversas condições ecológicas brasileiras;

- ii) são as espécies mais usadas, em larga escala, para a produção de fibra curta e de carvão vegetal;
- iii) são as espécies mais potenciais para uso na silvicultura clonal em larga escala, permitindo a geração de matérias-primas mais homogêneas e em quantidade e qualidade para melhor atender a usos específicos da indústria;
- iv) a magnífica variabilidade inter e intra-específica no *Eucalyptus*, expressa por suas diversificadas propriedades da madeira, possibilita o seu emprego para os mais diversos fins tecnológicos.

Seguindo uma tendência mundial, as empresas florestais devem buscar novas alternativas para agregar maior valor aos seus produtos. Isso implica na produção de madeira com propriedades para atender a um grande número de produtos, o que indica a necessidade de adequação de espécies de rápido crescimento para suprir a demanda de madeira que recai sobre as florestas nativas. Dessa forma, os eucaliptos são considerados como uma opção potencial para o suprimento de madeira serrada, ou madeira processada para a produção de lâminas e painéis. As limitações da madeira para essas finalidades, consideradas de extrema importância, são as tensões de crescimento, densidade, retratibilidade e propriedades de resistência mecânica.

Assim, nos últimos anos, as empresas florestais têm adequado tratamentos silviculturais e programas de melhoramento genético para superar os desafios impostos pelos *Eucalyptus*. Por essa razão, o melhoramento genético dessa espécie não deve ser restrito apenas às características de crescimento, mas estendido às características da madeira que são necessárias ao atendimento de usos mais diversificados e de maior retorno econômico.

Nesse contexto, as reduções das tensões de crescimento via seleção genética propiciarão a produção de madeira serrada com menor índice de

rachadura de extremidade de tábua, encurvamento e arqueamento (Schacht et al., 1998).

Quanto à densidade básica, tanto o seu aumento quanto a sua redução, dependendo do uso final da madeira, implicam em melhorias que podem ser alcançadas pelo melhoramento genético. Por exemplo, na produção de celulose (Dias & Silva, 1985) e móveis (Dessie, 1997), é desejável o uso de madeira menos densa; já para a produção de carvão vegetal, é desejável o uso de madeiras mais densas que proporcionarão um maior rendimento em carvão (Oliveira, 1988).

Outra característica de grande importância para diversos usos da madeira, tais como: produção de móveis, portas, janelas, tábuas e tacos para assoalhos demandam a utilização de madeira com maior estabilidade dimensional. Silveira (1999) verificou que reduções nas contrações tangencial, radial e volumétrica podem ser alcançadas pelo melhoramento genético.

Diante desses fatos, nota-se que o melhoramento genético é estrategicamente importante para produzir madeira com qualidades para atender aos diversos usos e produtos industrializados. Entretanto, quando se utiliza o método de seleção para a obtenção de materiais genéticos superiores e posterior utilização desses na formação dos povoamentos florestais, deve-se praticar uma intensidade de seleção suficientemente alta para que os ganhos genéticos sejam compensadores e tornem os empreendimentos comercial e tecnologicamente valorizados.

Para o melhoramento genético da madeira, os atuais programas têm enfrentado importantes restrições quanto à exequibilidade das seleções com altos índices. Todas as restrições decorrem da necessidade de se avaliar uma grande quantidade de árvores e do envolvimento de um conjunto de características da madeira, relativamente amplo, que deve ser avaliado em laboratório, utilizando amostras obtidas de forma destrutiva.

Todo esse processo, além de oneroso, é demorado, devido aos protocolos que envolvem diferentes etapas que se estendem desde o abate da árvore, passando pelo seccionamento do fuste, desdobro das toras, para a obtenção de tábuas, das quais serão gerados diferentes corpos-de-prova, até a coleta dos dados, que segue normas técnicas rigorosas. Além disso, existem as características de difícil avaliação e ou que apresentam significativos erros experimentais devido às dificuldades de controle ambiental.

Diante dessas restrições, o presente estudo tem o objetivo de avaliar métodos de amostragem não destrutivos na madeira de árvores vivas, bem como avaliar as possibilidades de obtenção de ganhos indiretos nas propriedades físicas da madeira e no rendimento de madeira serrada, pela seleção em características avaliadas de forma não destrutiva.

## 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2005. Brasília: ABRAF, 2006. 80p.

DIAS, R.L.V.; SILVA, C. JR. E. A eficiência da densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* em suas propriedades químicas e propriedades de polpação e papel. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 1985, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1985. p.31-55.

DESSIE, C. Móveis muito além do tradicional. **Revista Silvicultura**, v.18, n.69, p.12-18, jan./fev. 1997.

OLIVEIRA, E. de. **Correlações entre o parâmetro de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T. Avanços genéticos na obtenção de sólidos de *Eucalyptus* de qualidade superior. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras, MG: UFLA: Centro de Estudos em Recursos Naturais Renováveis, 2002. p.114-125.

SCHACHT, L.; GARCIA, J.N.; VENCOVSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n.54, p.55-68, dez. 1998.

SILVEIRA, V.; ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO, P.F.; CARVALHO, D.; MARTINS, S.C. Variação dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes espaçamentos. **Revista Cerne**, v.5, n.2, p.105-124, 1999.



## **CAPÍTULO 1**

### **MELHORAMENTO GENÉTICO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS* PELA SELEÇÃO CONDUZIDA EM ÁRVORES VIVAS**

## RESUMO

RODRIGUES, Érica de Alvarenga Crespo. Melhoramento genético da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* pela seleção conduzida em árvores vivas. In: \_\_\_\_\_. **Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas.** 2007. Cap.1, p. 6-42. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil<sup>1</sup>.

A amostragem de uma árvore para avaliar o rendimento e a qualidade da madeira, comumente, é realizada por meio de métodos destrutivos. Esse processo apresenta desvantagens, em decorrência da morosidade na obtenção de dados e por não permitir avaliar grande quantidade de materiais genéticos. A amostragem não destrutiva possibilita avaliar uma grande quantidade de árvores, permitindo uma seleção mais intensa e rápida, visando à reprodução em massa e uso na formação de florestas clonais. Os objetivos do presente estudo foram avaliar a adequação do resistógrafo para a estimativa da densidade básica (DB) da madeira de árvores de *Eucalyptus*, estimar os parâmetros e as correlações fenotípicas, genética e ambientais, bem como os ganhos genéticos para densidade básica (DB), deformação residual longitudinal (DRL) conicidade (CO) e achatamento (ACH) da madeira, estimadas em árvores vivas de *Eucalyptus*. Foram utilizados 13 clones de *Eucalyptus* com 10 anos de idade, cultivados no espaçamento de 10,0 x 4,0m. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Primeiramente, com o resistógrafo, foram coletados os dados de amplitude nas direções de plantio: entre linhas ( $A_{EL}$ ), dentro das linhas ( $A_{DL}$ ) e a amplitude média ( $A_M$ ); com o extensômetro mediu-se a DRL, também, nas direções: entre linhas ( $DRL_{EL}$ ), dentro da linha ( $DRL_{DL}$ ) de plantio e média ( $DRL_M$ ). Os dados de conicidade (CO) e de achatamento (ACH) foram obtidos em toras de 3,0 m de comprimento. Verificou-se que o resistógrafo mostrou-se eficiente para estimar a densidade básica ( $DB_{Est}$ ) da madeira de *Eucalyptus*, em função da  $A_{EL}$ . Os valores de herdabilidade para a  $DRL_{EL}$ ,  $DRL_{DL}$ ,  $DRL_M$ , CO e ACH foram considerados de média magnitude e da ordem de 56%, 72%, 77%, 55% e 73%, respectivamente.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, amostragem, conicidade, achatamento.

---

<sup>1</sup> Comitê de orientação – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Orientador), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – orientador), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-orientador)

## **CHAPTER 1**

### **GENETIC IMPROVEMENT OF THE *Eucalyptus* WOOD BASIC DENSITY BY SELCTION CONDUCTED IN LIVING TREE**

## ABSTRACT

RODRIGUES, Érica de Alvarenga Crespo. Genetic improvement of the *Eucalyptus* wood basic density by selection conducted in living trees. In: \_\_\_\_\_ . **Estimation of genetic, phenotypic and environmental parameters for *Eucalyptus* wood quality in living trees.** 2007. Chap. 1. p. 6-42. Thesis (Doctorate in Forestry) – Federal University in Lavras, MG, Brazil<sup>1</sup>.

The sampling of a tree to evaluate the quality of wood is mostly performed by destructive methods. This process presents disadvantages due to the slowness in obtaining data and for not allowing evaluating a great amount of genetic materials. The non-destructive sampling enables the evaluation of a large amount of trees, allowing a more intensive and faster selection aiming both the massive reproduction and use in the formation of clonal forests. The objective of the present study were: *i*) to evaluate the adequacy of the Resistograph for the estimative of the wood basic density (DB) of *Eucalyptus* trees; *ii*) to estimate the parameters and phenotypic, genetic and environmental correlations as well as genetic gains for basic density, longitudinal residual strains (DRL), conicity (CO) and circularity (ACH) estimated in living *Eucalyptus* trees. For this, 13 clones of *Eucalyptus* aged 10 years, cultivated at the spacing of 10.0 x 4.0 m, were utilized. The experiment was established in a completely randomized design with three replicates. Firstly, with the Resistograph, Amplitude data were collected in the planting directions: between rows ( $A_{EL}$ ), within rows ( $A_{DL}$ ) and the average ( $A_M$ ); with the extensometer. DRL was measured also, in the directions: between row ( $DRL_{EL}$ ), within row ( $DRL_{DL}$ ) of planting and mean ( $DRL_M$ ). The data of conicity (CO) and of circularity (ACH) were obtained in logs on 3.0 m long. It was found that the Resistograph proved efficient to estimate basic density ( $DB_{Est}$ ) of *Eucalyptus* wood as related with  $A_{EL}$ . The heritability values for  $DRL_{EL}$ ,  $DRL_{DL}$ ,  $DRL_M$ , CO and ACH were regarded as of mean magnitude and of the order of 56, 72, 77, 55 and 73%, respectively.

**Key words:** *Eucalyptus*, sampling, conicity, circularity.

---

<sup>1</sup> Guidance committee – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Adviser), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – adviser), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-adviser)

## 1 INTRODUÇÃO

A amostragem de uma árvore para avaliar o seu rendimento e qualidade da madeira, geralmente, é realizada por meio de métodos destrutivos. Ela, se bem conduzida, propicia a obtenção de dados confiáveis para melhorar o processo de manejo florestal e de gestão empresarial. Por outro lado, a amostragem destrutiva da madeira apresenta desvantagens, em decorrência da morosidade na obtenção de dados e da grande quantidade de material a ser analisado em processos laboratoriais que, dependendo da característica, são bastante onerosos. As desvantagens da amostragem destrutiva de materiais também são relatadas em vários outros setores da indústria e da engenharia.

Por essas razões, as técnicas de amostragem não destrutivas vêm sendo aplicadas de forma intensiva pela indústria mecânica, da construção civil e madeireira em diversos países, como Alemanha, França e Estados Unidos. No Brasil, o uso desses métodos vem ganhando espaço nos últimos anos, tanto para classificar material processado como também material vivo, constituindo uma valiosa ferramenta para o setor florestal.

A avaliação não destrutiva de materiais é a ciência da identificação de propriedades físicas, químicas e mecânicas de um material, sem prejudicar o seu uso final, e da utilização dessa informação para tomar decisões a respeito das aplicações mais apropriadas. Tais avaliações fornecem informações precisas relativas às propriedades, integridade estrutural ou condições do material (Ross et al., 1998).

Essas avaliações podem ser utilizadas para uma diversidade de fins. Sua aplicação na madeira varia pela presença de nós, pelo ataque de insetos ou de microorganismos, pelo direcionamento das fibras, pela decomposição, passando pela avaliação de elementos estruturais em uso, até a determinação de

parâmetros mecânicos, como módulo de elasticidade e físicos como a densidade básica (Matos, 2002).

São vários os métodos e as ferramentas utilizadas na amostragem não destrutiva de árvores, dentre os quais podem-se destacar: os visuais, trado de incremento mecânico, ultra-som, scanner, pilodyn, sonda pressler, raio-x, vibração, ondas de tensão, resistógrafo e extensômetro.

Além desses, métodos mais simples como a conicidade e o achatamento do tronco também podem ser utilizados para a avaliação não destrutiva avaliados na árvore viva. A conicidade e o achatamento são diretamente proporcionais ao rendimento em madeira serrada. Assim, uma redução nessas características proporcionará um aumento no rendimento em madeira serrada (Ferreira, 2003; Crespo, 2000).

A utilização de métodos não destrutivos pode permitir, de maneira rápida e precisa, a avaliação e a identificação de grande quantidade de árvores no campo. Isso possibilita a seleção de maior número de árvores produtoras de madeira com a agregação de importantes atributos tecnológicos para o seu uso industrial.

Diante do exposto, visando acelerar o estabelecimento e a condução de programas de melhoramento genético da qualidade da madeira, os objetivos deste estudo foram:

- avaliar a adequação do resistógrafo para a estimativa da densidade básica (DB) da madeira de árvores de *Eucalyptus* no campo;
- avaliar a adequação do extensômetro para a estimativa das deformações residuais longitudinais (DRL) da madeira em árvores de *Eucalyptus* no campo;

- estimar os parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais para as características  $DB_{Est}$  e DRL da madeira, obtidas em árvore vivas de *Eucalyptus*;
- estimar os parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais para as características de conicidade (CO) e achatamento (ACH) do tronco de árvores vivas de *Eucalyptus*;
- avaliar as correlações fenotípicas, genéticas e ambientais, bem como os ganhos genéticos, diretos e indiretos, envolvendo as características não destrutivas avaliadas na árvore viva, ou seja, amplitude,  $DB_{Est}$ , DRL, CO e ACH.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O material de estudo foi constituído por treze clones de *Eucalyptus*, três rametes, por clone com dez anos de idade, cultivados na Fazenda Riacho, de propriedade da Companhia Mineira de Metais (VM-AGRO), do Grupo Votorantim. Essa fazenda está localizada no município de Paracatu, região noroeste de Minas Gerais, 17°36'09" de latitude Sul e 46°42'42" de longitude Oeste de Greenwich e uma altitude de 550m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da área é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura e a precipitação média anual são de 24°C e de 1.450mm, respectivamente.

Esses clones são híbridos naturais e foram cultivados em um teste clonal, onde o espaçamento utilizado foi de 10x4m, para satisfazer aos propósitos de projetos agrossilviculturais que visam à produção de arroz, soja, gado de corte e madeira serrada.

Os clones estudados foram os mais produtivos em avaliações preliminares conduzidas pela VM-AGRO (Tabela 1). Além da produtividade, esses clones foram escolhidos por apresentarem fustes retos e não bifurcados e bom estado fitossanitário.

### 2.1 Amostragem não destrutiva na árvore viva

#### 2.1.1 Amostragem não destrutiva com o extensômetro

As medições com o extensômetro (Growth Strain Gauge-do Cirad-Forêt) forneceram os dados digitais de deformação residual longitudinal (DRL), os quais foram obtidos após a remoção da casca do tronco para formar a abertura de uma “janela” à altura de 1,3 m do solo (DAP), conforme evidenciado na Figura 1. As DRLs foram obtidas em quatro posições nas árvores, sendo duas entre linhas de plantio (DRL<sub>EL</sub>) e duas dentro da linha de plantio (DRL<sub>DL</sub>).



TABELA 1 Produção volumétrica dos clones de *Eucalyptus* utilizados no presente estudo.

<b>Clone</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>)</b>
46	144,6737
48	180,3223
31	221,6499
309	230,7288
319	249,2746
38	257,3185
44-JC	261,4834
44	277,3866
181	282,4297
71	287,8511
35	297,6499
23	307,6232
26	337,1970

O extensômetro é posicionado no sentido da grã, por meio de dois pinos distantes um do outro 45 mm. Após a fixação do extensômetro foi feito um furo de 20 mm com um arco de pua na posição mediana entre os pinos, com a intenção de liberar a tensão de crescimento. Assim, a deformação residual longitudinal resultante foi registrada no mostrador digital do extensômetro. Esse aparelho foi utilizado na ausência de ventos para não influenciar a leitura de deformação residual longitudinal.



FIGURA 1 Extensômetro em aplicação para a obtenção de dados de deformações residuais longitudinais (DRL) de *Eucalyptus*.

### 2.1.2 Amostragem não destrutiva utilizando o resistógrafo

A furadeira Resistograph® (resistógrafo) mede a resistência da madeira à penetração de uma broca de 3mm de diâmetro por 500 mm de comprimento (Figura 2). Essa furadeira registra a diferença entre zonas mais densas e mais macias.

O resistógrafo penetra na madeira e registra a amplitude (%) de uma medição em relação a um valor de referência máximo e 100 pares de profundidade avançada pela broca e de amplitude por centímetro de madeira perfurada (Lima et al., 2002).

A perfuração das árvores no campo foi realizada a 1,30m de altura do solo (DAP), na região próxima à utilizada para fazer as medições com o

extensômetro. As amplitudes foram registradas entre linhas de plantio ( $A_{EL}$ ) e dentro da linha de plantio ( $A_{DL}$ ).

Os gráficos produzidos refletem o perfil diametral da árvore e foram visualizados pelo programa F-tools Pro (Instrumenta Mechanik Labor GmbH, 2000). Esse programa possibilita a exportação dos dados para a planilha eletrônica Excel, na qual foi estimada a amplitude média da árvore.



FIGURA 2 Resistógrafo em aplicação para a obtenção de dados de resistência mecânica à penetração da broca na madeira de *Eucalyptus*.

### 2.1.3 Amostragem não destrutiva - conicidade e achatamento

Após a coleta dos dados de amplitude e DRL, na árvore viva, foi realizado o corte transversal de derrubada, a uma altura de, aproximadamente, 0,3 m do solo. Posteriormente a queda da árvore, foi feito o seccionamento do fuste para a retirada da tora da base da árvore com 3,0m de comprimento. O material foi identificado e as toras foram transportadas para a serraria da

Universidade Federal de Lavras, e foram medidos os defeitos na tora (achatamento e conicidade).

Esses defeitos foram medidos na tora, porém, eles podem ser medidos na árvore viva. Dessa maneira, a avaliação desses defeitos foi considerada como método de amostragem não destrutivo.

### 2.1.3.1 Conicidade

A conicidade da tora foi obtida por meio dos diâmetros médios das duas extremidades, de acordo com a Figura 3 Equação (1).

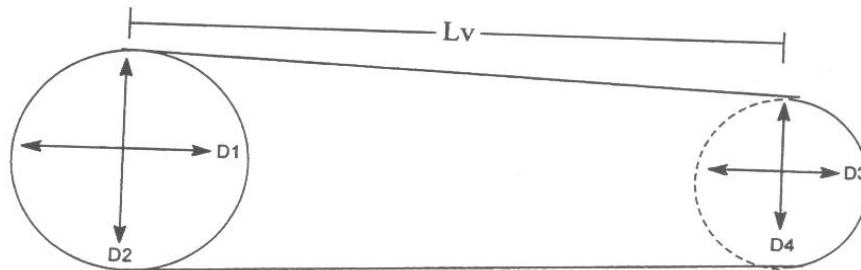


FIGURA 3 Método utilizado para determinar a conicidade da tora.

$$CO(cm/m) = \frac{\frac{(D_1 + D_2)}{2} - \frac{(D_3 + D_4)}{2}}{L_v} \quad (1)$$

Em que: CO = conicidade (cm/m);

D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> = diâmetros opostos da base da tora (cm);

D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub> = diâmetros opostos do topo da tora (cm);

L<sub>v</sub> = comprimento da tora (m).

### 2.1.3.2 Achatamento

O achatamento ou a circularidade das toras caracteriza-se pela presença de diâmetros diferentes em uma mesma secção da tora e foi determinado de acordo com o esquema mostrado na Figura 4, devendo ser avaliado nas duas extremidades da tora (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, IBDF, 1984).

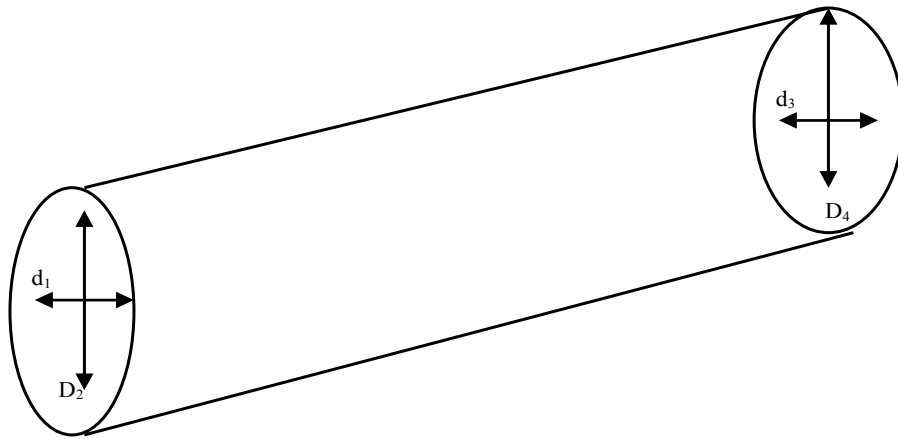


FIGURA 4 Achatamento da tora.

Para a obtenção dos dados de achatamento mediu-se, com uma suta, o diâmetro perpendicular entre si, em cada extremidade da tora, calculado de acordo com a Equação (2).

$$ACH = \frac{d(1e3)}{D(2e4)} * 100 \quad (2)$$

em que: ACH = achatamento (%);

d = média dos menores diâmetros da extremidade da tora, respectivamente, na base (d<sub>1</sub>) e no topo (d<sub>3</sub>);

$D$  = média dos maiores diâmetros da extremidade da tora, respectivamente, na base ( $D_2$ ) e no topo ( $D_4$ ).

## **2.2 Amostragem destrutiva para a determinação da densidade básica**

Após o desdobro das toras, retiraram-se as porções do topo de cada tábua e do pranchão central, cada uma com comprimento de 70 cm. Essas porções foram sarrafeadas no sentido longitudinal e os corpos de prova, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 2,5 cm, foram retirados dos sarrafos, de modo a amostrar a madeira no sentido medula-casca.

Assim, a densidade básica foi obtida, representando a madeira no sentido radial, em uma porção de tronco compreendida entre 2,6 e 3,3m de altura do fuste.

Os corpos-de-prova foram numerados para a identificação do clone e do ramete. Em seguida, foram imersos em água para a completa saturação. Utilizou-se um paquímetro digital de precisão de 0,001 mm, para determinar as dimensões radiais, tangenciais e longitudinais do corpo-de-prova e uma balança digital com precisão de um centésimo de grama para a tomada de massa. Posteriormente, os corpos-de-prova foram colocados em estufa de circulação de ar a  $103 \pm 2^\circ \text{C}$ , até atingirem peso constante, sendo, então, novamente medidos e pesados.

O volume das amostras foi determinado multiplicando-se as dimensões radiais, tangenciais e longitudinais e a densidade básica foi determinada pela relação entre a massa seca da amostra pelo seu volume completamente saturado.

## **2.3 Análises de regressão**

Com a finalidade de estimar a densidade básica da madeira foi avaliada a relação funcional existente entre a densidade básica (DB) e a amplitude (A).

Ajustou-se um modelo linear e outro quadrático, de forma apresentada pelas equações 3 e 4, respectivamente, conforme sugerido por Lima et al. (2006).

$$Y_{i_x} = \beta_0 + \beta_1 * X_i + \xi_i \quad (3)$$

$$Y_{i_x} = \beta_0 + \beta_1 * X_i + \beta_2 * X_i^2 + \xi_i \quad (4)$$

Em que:

$Y_{i_x}$  = densidade básica estimada por modelo linear ( $\text{g.cm}^{-3}$ );

$Y_{i_x}$  = densidade básica estimada por modelo quadrático ( $\text{g.cm}^{-3}$ );

$\beta_0$  = constante da regressão;

$\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes da regressão;

A = amplitude;

$\xi_i$  = erro da regressão.

Para o ajuste dos modelos, utilizaram-se três bases de dados, a saber: a) amplitude entre linhas de plantio ( $A_{EL}$ ); b) amplitude dentro da linha de plantio ( $A_{DL}$ ) e amplitude média ( $A_M$ ). A seleção dos modelos foi baseada nas seguintes medidas de precisão: significância da regressão e dos coeficientes de regressão (teste F), coeficiente de determinação corrigido ( $\bar{R}^2$ ) e erro padrão residual ( $S_{y_x}$ ).

#### 2.4 Análises estatísticas

Para os estudos de variação entre clones e para as estimativas dos parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais, utilizou-se o seguinte modelo estatístico dado pela equação (5):

$$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij} \quad (5)$$

Em que:

$Y_{ij}$  = valor médio observado no i-ésimo clone na j-ésima repetição;

$\mu$  = média geral observada;

$C_i$  = efeito aleatório do i-ésimo clone ( $i=1,2,3,\dots,13$ );

$e_{ij}$  = erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$  (efeito aleatório).

A estrutura da análise de variância e as esperanças dos quadrados médios estão apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 Estrutura da análise de variância para a amostragem não destrutiva e destrutiva da madeira

FV	GL	E(QM)	QM	F
Clone	(c-1)	$\sigma_e^2 + r\sigma_c^2$	$Q_1$	$Q_1/Q_2$
Erro	(c-1)r	$\sigma_e^2$	$Q_2/r$	

Para a determinação dos parâmetros genéticos, foram utilizadas as equações 6 a 13, descritas por Cruz & Regazzi (2002):

a) Variância fenotípica

$$\sigma_f^2 = \frac{\text{Quadrado médio do clone (Q1)}}{\text{repetição (r)}} \quad (6)$$

b) Variância ambiental

$$\sigma_e^2 = \frac{\text{Quadrado médio do clone (Q2)}}{\text{repetição (r)}} \quad (7)$$

c) Variância genética

$$\sigma_c^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{r} \quad (8)$$

d) Coeficiente de herdabilidade clonal



$$H_c^2 (\%) = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2} * 100 \quad (9)$$

e) Coeficiente de variação genético

$$CV_g \% = \frac{\sqrt{\sigma_c^2}}{m\u00e9dia} * 100 \quad (10)$$

f) Coeficiente de variação experimental

$$CV_e \% = \frac{\sqrt{Q_2}}{m\u00e9dia} * 100 \quad (11)$$

g) Ganho direto esperado com a seleç\u00e3o

$$GD(\%) = i * \sqrt{\sigma_c^2} * \sqrt{h_c^2} \quad (12)$$

Em que:

$i$  = intensidade de seleç\u00e3o;

$\sigma_c^2$  = vari\u00e2ncia gen\u00e9tica;

$H_c^2$  = coeficiente de herdabilidade clonal.

A intensidade de seleç\u00e3o considerada foi selecionar dois clones em 13, obtendo um \u00edndice de 1,54, de acordo com o programa Genes (Cruz & Regazzi, 2002).

Os ganhos indiretos (GI) foram estimados pela equa\u00e7\u00e3o 13 (Cruz & Regazzi, 2002):

$$GI(\%) = i_{(x)} * \sqrt{h_{c(x)}^2} * r_{g(xy)} * \sqrt{\sigma_{c(y)}^2} \quad (13)$$

Em que:  $H_{c(x)}^2$  = coeficiente de herdabilidade clonal da caracter\u00edstica x;

$r_g(xy)$  = coeficiente de correlação genética entre as características x e y;

$\sigma_{c(y)}^2$  = variância genotípica da característica y.

Para a amplitude, e a densidade básica, foram selecionados os dois clones que apresentaram os menores e ou maiores valores médios, dependendo do uso final da madeira, enquanto que para conicidade, achatamento e contrações selecionaram-se aqueles que apresentaram menores médias.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em estudos prévios, conduzidos por Xavier (2001), na população de origem dos 13 clones avaliados no presente estudo, constatou-se que ela é geneticamente divergente, tendo as distâncias genéticas sido avaliadas por meio da técnica molecular *Random Amplified Polymorphic DNA* ou RAPD. Isso indicou a existência de níveis apropriados de variação para a condução de outros estudos genéticos e para a implantação de programas de seleção promissores para o alcance de ganhos significativos nas características de crescimento e da madeira.

Diante dessa consideração, procederam-se estudos genéticos biométricos para várias propriedades da madeira, incluindo, principalmente, aquelas relacionadas com a qualidade da madeira processada.

#### 3.1 Modelos para a estimativa da densidade básica da madeira

Com o propósito de avaliar a densidade básica da madeira de árvores vivas, ou seja, em amostragens não destrutivas, o presente estudo avaliou a aplicabilidade do resistógrafo.

Para tanto, foram ajustados modelos lineares e quadráticos conforme sugerido por Lima et al. (2006). A densidade básica se constituiu na variável dependente e a amplitude, fornecida pelo resistógrafo, na variável independente. Para esta última, consideraram-se os valores de amplitude registrados na altura de 1,3 m e em duas direções de perfuração, uma na entrelinhas de plantio ( $A_{EL}$ ) e outra dentro da linha de plantio ( $A_{DL}$ ).

Na Tabela 3 são apresentados os modelos com os respectivos parâmetros da análise da regressão.

Os modelos ajustados forneceram equações de boa precisão, apresentando valores de F significativos ( $p < 0,01$ ) de  $R^2$  variando de 72,0%

(modelo quadrático com amplitude registrada dentro da linha) a 93,0% (modelo linear com amplitude registrada entre linha).

Comparando-se os coeficientes de determinação observa-se que o modelo linear e o quadrático são bastante semelhantes, porém, quando se compara o erro padrão residual ( $S_{xy}$ ), para todas as situações, nota-se que o melhor ajuste foi para o modelo linear. Analisando-se os ajustes desse modelo, verifica-se que a amostragem na direção entre linha de plantio apresentou melhores resultados, com valor de  $R^2=93,0$  e  $S_{yx}=0,0150$  (g .cm<sup>-3</sup>).

TABELA 3 Modelos para estimativa da densidade básica (DB) média da madeira em árvores vivas, com base nas amplitudes fornecidas pelo resistógrafo na direção entre linha ( $A_{EL}$ ), dentro da linha de plantio ( $A_{DL}$ ) e média nas duas direções ( $A_M$ ).

Direção de amostragem	Modelo ajustado	F	$\bar{R}^2$ (%)	$S_{yx}$ (g.cm <sup>-3</sup> )
$A_{EL}$	Linear: DB = 0,3652 + 0,0046** $A_{EL}$	150,9 <sup>++</sup>	93	0,0150
	Quadrática: DB = 0,3715 + 0,0043 <sup>ns</sup> $A_{EL}$ + 0,00000445 <sup>ns</sup> $A_{EL}^2$	176,1 <sup>++</sup>	92	0,0272
$A_{DL}$	Linear: DB = 0,03904 + 0,0033* $A_{DL}$	29,8 <sup>++</sup>	73	0,0300
	Quadrática: DB = 0,4640 – 0,000049 <sup>ns</sup> $A_{DL}$ + 0,000019 <sup>ns</sup> $A_{DL}^2$	147,0 <sup>++</sup>	72	0,0501
$A_M$	Linear: DB = 0,3754 + 0,040** $A_M$	58,4 <sup>++</sup>	84	0,0229
	Quadrática: DB = 0,4089 + 0,022 <sup>ns</sup> $A_M$ + 0,000021 <sup>ns</sup> $A_M^2$	162,4 <sup>++</sup>	82	0,0405

Em que: \*\*, \* Significativo, pelo teste de t, a probabilidade de ( $p \leq 0,01$ ) e ( $p \leq 0,05$ ), respectivamente; ++ Significativo, pelo teste de F ( $p \leq 0,01$ ); ns = não significativo;  $\bar{R}^2$  = coeficiente de determinação e  $S_{yx}$  = desvio padrão residual.

Os coeficientes de variação experimental ( $CV_e$ ), apresentados na Tabela 4, assumiram valores de 16,4% para a amplitude registrada entre linhas, enquanto que o  $CV_e$  registrado dentro da linha foi da ordem de 23,4%. Essa diferença de  $CV_e$  entre as posições de amostragem mostra que, entre linhas, os dados de amplitude foram obtidos com maior eficiência, visto que a variação

ambiental ( $\sigma^2_e$ ) nesta direção foi de 8,4, enquanto que, dentro da linha, foi de 22,9.

Uma possível causa dessa diferença de eficiência pode ser em decorrência de variações na madeira que surgem em virtude da formação de madeira de reação que, para o caso dos *Eucalyptus*, é a de tração. No presente caso, pode-se deduzir que existe maior proporção de madeira de tração no sentido dentro da linha, onde o espaçamento entre plantas foi de 4,0 m e, entre linhas, é de 10,0m. Nesse maior espaçamento, utilizado para consórcios de agrossilvicultura, pode estar ocorrendo presença de ventos dominantes, o que faz a árvore crescer inclinada, provocando o aparecimento da madeira de tração. Além disso, pode ocorrer uma maior insolação lateral nas árvores e ou um crescimento desequilibrado da copa. Segundo Burguer & Richter (1991), esses fenômenos resultam na formação de madeira com propriedades desiguais em decorrência da presença de madeira de tração em um dos lados do tronco.

Lima et al. (2006), ao estudarem a adequação do resistógrafo para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp., verificaram que os modelos quadráticos forneceram equações mais precisas na estimação da densidade básica. Nesse estudo, as amostragens foram feitas em direções cardinais distintas, tendo, na sul-norte, sido constatada maior eficiência de amostragem.

Esses resultados indicam que a avaliação da densidade básica da madeira poderá ser feita por meio da amostragem não destrutiva da árvore, utilizando as amplitudes medidas pelo resistógrafo. Como essas medidas são fácil e eficientemente obtidas, ocorrerá grande economia de tempo nas avaliações da densidade básica da madeira, possibilitando o estudo de grande quantidade de materiais genéticos no campo, para, dessa forma, conduzir seleções mais rigorosas e alcançar ganhos genéticos mais expressivos na referida característica.

### **3.2 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para as características não destrutivas avaliadas em árvores vivas**

Na Tabela 4, observa-se que existe diferença significativa ( $p < 0,01$ ), pelo teste F, entre os clones estudados, para a característica densidade básica estimada ( $DB_{Est}$ ), evidenciando a possibilidade de seleção de clones. A  $DB_{Est}$  média foi de  $0,506 \text{ g.cm}^3$ . Como os valores de densidade básica (DB) encontrados na literatura para espécies de *Eucalyptus* variam de 0,34 (Lima et al., 2007) a  $0,73 \text{ g.cm}^{-3}$  (Caixeta, 2000), verifica-se, neste trabalho, que a densidade encontrada pode ser considerado como média.

O coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ) foi inferior ao coeficiente de variação genético ( $CV_g$ ), conseqüentemente, a razão  $CV_g/CV_e$  estimada de 2,2 revela a grande possibilidade de alcance de ganhos genéticos significativos com a seleção de genótipos superiores. Segundo Vencovsky & Barriga (1992), isso ocorre quando essa razão for superior a um.

Como a herdabilidade foi alta (93%), a obtenção do referido ganho tornou-se, ainda, mais evidente. As estimativas de ganhos genéticos, tanto para a densidade básica estimada com o resistógrafo quanto para a obtida em laboratório por meio de amostragem destrutiva, serão apresentadas posteriormente.

Na Tabela 4 também são apresentas a análise de variância e a estimativa dos parâmetros genéticos realizada para as amplitudes e para outras características não destrutivas das árvores de 13 clones de *Eucalyptus* spp.

Dentre elas, estão a deformação residual longitudinal (DRL), a conicidade (CO) e o achatamento (ACH) da tora da base obtida na altura de 0,30 e 3,3m.

Além da densidade básica, observa-se na Tabela 4, que existe diferença significativa ( $p < 0,01$ ), pelo teste F, entre os clones estudados, para a amplitude, DRL, ACH e CO, indicando a possibilidade de seleção de clones.

Os valores médios de  $A_{EL}$  foi de 30,7; para a  $A_{DL}$ , foi de 35,4 e, para a  $A_M$ , foi de 33,1. Essas médias de amplitude são próximas às obtidas por Oliveira (2005) e Lima et al. (2002). Para a amplitude, as menores médias foram observadas na posição entre linha de plantio, o que está em conformidade com os resultados encontrados por Trugilho et al. (2006).

Verifica-se, ainda na Tabela 4, que os coeficientes de variação experimental genotípico ( $CV_g$ ) para a amplitude foram semelhantes (em torno de 37%) nas duas direções de amostragem quanto na média. Como o coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ) da  $A_{DL}$  foi bem superior aos observados para  $A_{EL}$  e  $A_M$ , a razão  $CV_g/CV_e$  nessa direção (1,6) foi inferior às obtidas na direção entre linha (2,2) e na média (2,3). Isso indica que os maiores ganhos da seleção poderão ser alcançados quando as avaliações da amplitude forem feitas entre linhas de plantio ou pelos dados de média.

As herdabilidades para a amplitude foram de 93%, 89% e 94%, para  $A_{EL}$ ,  $A_{DL}$  e  $A_M$ , respectivamente. Herdabilidades semelhantes foram estimadas por Oliveira (2005). Esses altos valores de herdabilidade também indicam as boas perspectivas para a obtenção de ganhos na amplitude, como será posteriormente apresentado.

TABELA 4 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para as características não destrutivas avaliadas na árvore viva de *Eucalyptus* spp.

Características não destrutivas da árvore viva										
Quadrado médio										
FV	GL	A <sub>EL</sub>	A <sub>DL</sub>	A <sub>M</sub>	DB <sub>Est</sub>	DRL <sub>EL</sub>	DRL <sub>DL</sub>	DRL <sub>M</sub>	CO	ACH
Clone	12	395,9 **	607,1 **	480,2 **	0,008 **	653,4 **	602,9 **	460,9 **	0,2 **	23,3 **
Resíduo	26	25,3	68,6	29,4	0,0005	284,9	164,7	105,1	0,1	6,1
Média		30,7	35,4	33,1	0,506	82,7	81,1	81,7	1,3	98,4
CV <sub>e</sub> (%)		16,4	23,4	16,4	4,5	20,4	15,8	12,5	26,2	2,5
CV <sub>g</sub> (%)		36,1	37,6	37,1	10,1	13,4	14,9	13,3	16,7	2,4
$\sigma^2_f$		131,9	202,3	160,1	0,003	217,8	200,9	153,6	0,08	7,7
$\sigma^2_e$		8,4	22,9	9,80	0,0001	94,9	54,9	35,0	0,4	2,0
$\sigma^2_g$		123,5	179,4	150,3	0,002	122,8	146,1	118,6	0,04	5,7
H <sup>2</sup> <sub>c</sub> (%)		93	89	94	93	56	72	77	55	73
CV <sub>g</sub> /CV <sub>e</sub>		2,2	1,6	2,3	2,2	0,6	0,9	1,1	0,6	0,9

Em que: \*\*, \* Significativo, pelo teste de F, à probabilidade de (  $p \leq 0,01$ ) e (  $p \leq 0,05$ ) respectivamente; ns não significativo; A<sub>EL</sub> (%) = amplitude entre linhas de plantio; A<sub>DL</sub>(%) = amplitude dentro da linha de plantio; A<sub>M</sub> (%) = amplitude média; DB<sub>Est</sub> (g.cm<sup>-3</sup>) = densidade básica estimada; DRL<sub>EL</sub>( $\mu$ m) = deformação residual longitudinal medida entre linhas de plantio; DRL<sub>DL</sub>( $\mu$ m) = deformações residuais longitudinais medidas dentro da linha de plantio; DRL<sub>M</sub>( $\mu$ m) = deformação residual longitudinal média; CO (cm.m<sup>-1</sup>) = conicidade; ACH (%) = achatamento; CV<sub>e</sub> = coeficiente de variação experimental; CV<sub>g</sub>= coeficiente de variação genética; CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub> = índice de variação;  $\sigma^2_f$  = variação fenotípica;  $\sigma^2_e$  = variação ambiental;  $\sigma^2_g$  = variação genética e H<sup>2</sup><sub>c</sub> = coeficiente de herdabilidade.



Como a razão  $CV_g/CV_e$  e os valores de herdabilidade para a  $A_{EL}$  e  $A_M$ , foram semelhantes, verifica-se que, neste caso, não há necessidade de selecionar clones pelos dados de média de amplitude.

Pelos dados da Tabela 4 pode-se verificar que os valores médios encontrados para DRL entre linhas ( $DRL_{EL}$ ), dentro da linha ( $DRL_{DL}$ ) e para a média dessas duas direções de amostragem ( $DRL_M$ ) foram, respectivamente, 82,7 $\mu$ m; 81,1 $\mu$ m e 81,7 $\mu$ m, os quais se encontram dentro da mesma faixa apresentada por Trugilho et al. (2006), Oliveira (2005), Pádua (2004), Cardoso Júnior (2004) e Souza (2002).

O coeficiente de variação experimental é uma medida de variabilidade bastante útil que especifica a acurácia dos resultados experimentais. Os referidos coeficientes encontrados para  $DRL_{EL}$ ,  $DRL_{DL}$  e  $DRL_M$  foram de 20,4%; 15,8% e 12,5%, respectivamente, podendo-se concluir que a menor precisão na obtenção dos dados ocorre entre as linhas de plantio. Segundo Gomes (1990),  $CV_e$  acima de 20% é considerado alto, não refletindo uma boa coleta de dados e ou uma boa eficiência do delineamento experimental utilizado. Por outro lado, quando  $CV_e$  for inferior a 20%, pode ser considerado de média precisão, principalmente quando se tratam de experimentos com essências florestais (Garcia, 1989).

Os coeficientes de variação genético foram de 13,4% ( $DRL_{EL}$ ), 14,9% ( $DRL_{DL}$ ) e 13,3% ( $DRL_M$ ), indicando que não há variações expressivas desse coeficiente entre as direções estudadas. Como o  $CV_e$  na direção entre linhas foi bastante superior, a razão  $CV_g/CV_e$  nessa direção foi de apenas 0,65, sendo, portanto, inferior aos valores encontrados para as outras características, que foram próximos de 1.

As herdabilidades estimadas para as DRL foram de 56% para  $DRL_{EL}$ , 72% para  $DRL_{DL}$  e 77% para  $DRL_M$ . Esses resultados são próximos aos encontrados por Oliveira (2005) e inferiores aos encontrados por Souza (2002), que foi da ordem de 94%. Esses valores de herdabilidade também indicam as

boas perspectivas para a obtenção de ganhos na DRL, como será posteriormente apresentado.

Na Tabela 4, pode-se observar também que a conicidade (CO) média foi de 1,3 cm.m<sup>-1</sup>. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Ferreira (2004) que, estudando híbridos de *Eucalyptus* spp verificou uma CO de 1,4 cm.m<sup>-1</sup>. Schacht (1998), estudando clones de *Eucalyptus urophylla* aos 9 anos de idade, verificou uma conicidade média de 1,6 cm.m<sup>-1</sup>. Este resultado, quando comparado com os encontrados neste estudo e por Ferreira (2004), são considerados superiores. De acordo com as normas do IBDF (1984), a qualidade do tronco pode estar comprometida quando a CO for superior a 3,0%, ou seja, 3,0cm.m<sup>-1</sup>. Comparando-se os resultados de conicidade, citados anteriormente, pode-se dizer que os clones deste estudo produziram toras mais cilíndricas.

Os dados da Tabela 4 apresentam a percentagem média de achatamento (ACH) de 98,4%. Quanto ao grau de achatamento do tronco, Ferreira (2003) encontrou um valor médio de 94,8%. As normas do IBDF (1984) consideram que graus de achatamento inferiores a 90% são depreciativos da qualidade do tronco. Entretanto, comparativamente, pode-se dizer que os troncos dos clones deste estudo são mais circulares que aqueles estudados por Ferreira (2004).

Os valores de CV<sub>e</sub> encontrados para a CO e ACH foram, respectivamente de 26,2% e 2,5%, indicando que a avaliação da CO, comparativamente com ACH, está bem mais propensa às interferências de fatores ambientais, incluindo os erros de obtenção de dados e de escolha do delineamento experimental. Por esses motivos, como evidenciado na Tabela 2, a herdabilidade para ACH (73%) foi superior à apresentada para CO (55%). Da mesma forma, pode-se observar, nas razões CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub>, em que, para ACH, foi de 0,9 e, para a CO, de 0,6, indicando que os ganhos genéticos podem ser mais expressivos para a melhoria da circularidade que para a conicidade da tora.

Adorno (2002) e Schacht (1998) encontraram herdabilidades baixas para CO, indicando um pequeno controle genético da referida característica.

### 3.3 Estimativas das correlações e previsões de ganhos genéticos

Na Tabela 5 são apresentadas as estimativas de correlações fenotípica, genética, e ambiental entre as características não destrutivas, avaliadas em árvores vivas. Nesta Tabela observa-se que a maioria dessas correlações foi de baixa a média magnitude. A correlação genética, que é de interesse para a obtenção de ganhos indiretos, variou de -0,35 ( $A_{EL} \times CO$  e  $DB_{Est} \times CO$ ) a 0,55 ( $DRL_M \times CO$ ). Esses dois resultados podem, comparativamente, ser considerados de média magnitude e apresentam interpretações que demonstram vantagens para a seleção indireta, ou seja, a seleção para aumentar  $A_{EL}$  ou  $DB_{Est}$  pode gerar ganhos indiretos na redução da conicidade.

Esse referido aumento na  $A_{EL}$  também implica no aumento da densidade básica da madeira, a qual está associada a várias outras importantes características tecnológicas da madeira e do carvão vegetal.

A correlação genética de 0,55 ( $DRL_M \times CO$ ) indica que a redução da deformação residual longitudinal (DRL) também, pode gerar ganhos indiretos na redução da conicidade. Esses dois ganhos representam importantes avanços no melhoramento da qualidade e do rendimento da madeira processada. Uma redução na DRL pode ter resultados na diminuição das tensões de crescimento e, conseqüentemente, na geração de madeira com maior estabilidade dimensional e menor índice de rachadura, empenamento e colapso.

Quanto ao ganho indireto na redução da conicidade da tora, podem-se prever reflexos positivos. Crespo (2000), estudando a Tensão de crescimento e suas conseqüências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*; verificou que o aumento no rendimento em madeira serrada é diretamente proporcional à redução da

conicidade da tora. Neste trabalho, os valores médios encontrados para a conicidade da madeira foram semelhantes aos encontrados por Crêspo (2000), indicando que os clones selecionados poderão propiciar maiores rendimentos em madeira serrada.

Na Tabela 6 estão apresentados os ganhos indiretos, podendo-se verificar que a seleção para reduzir  $A_{EL}$  ou  $DB_{Est}$  resultará em uma redução da conicidade da ordem de 8,9%. Isso corresponde a uma eficiência de seleção indireta (ESI) de 46,6%. Esse percentual revela a proporção de ganho indireto (GI) quando comparado com o ganho direto (GD) gerado a partir da seleção realizada diretamente na característica correlacionada. No presente caso, GD para conicidade foi estimado em 19,2% .

Outros ganhos indiretos relativamente eficientes foram observados entre a  $DRL_M$  com a conicidade da tora. Nesse caso, a seleção para reduzir a  $DRL_M$  resulta em um ganho, nele próprio, de 18% e em um ganho indireto na redução da conicidade de 12,5% e uma ESI de 65,3%. Verifica-se também que, entre o achatamento (ACH) e a conicidade da tora (CO), os ganhos indiretos podem ser favoráveis. Uma seleção para diminuir o grau de achatamento da tora resulta em GD, nele próprio, de 3,2%. Isso promoverá um GI na redução da conicidade da ordem de 10,6%, ou seja, uma ESI da ordem de 55,2%.

Os valores de correlação entre a amplitude ( $A_{EL}$ ) e a densidade básica estimada ( $DB_{Est}$ ), bem como o ganho indireto na  $DB_{Est}$  obtido pela seleção em  $A_{EL}$ , também são apresentados nas Tabelas 5 e 6. Como  $DB_{Est}$  foi obtida em função da  $A_{EL}$  pelo emprego de um modelo linear com alto grau de ajuste, as correlações entre essas foram próximas de 1,0. Como as herdabilidades para ambas as características foram altas (Tabela 4), a eficiência da seleção indireta (ESI), ou seja, os ganhos indiretos em DB, em função da seleção em  $A_{EL}$ , são próximas de 100% (Tabela 6).

TABELA 5 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genotípica ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), entre características não destrutivas avaliadas na árvore viva.

	Amplitude entre linhas de plantio			Densidade básica estimada			Deformação residual longitudinal média			Conicidade			Achatamento		
	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$
A <sub>EL</sub>	-	-	-	1	1	1	-0,05	-0,09	0,17	-0,23	-0,35	0,12	0,01	0,003	0,05
DB <sub>Est</sub>				-	-	-	-0,05	-0,08	0,16	-0,23	-0,35	0,12	0,01	0,004	0,05
DRL <sub>M</sub>							-	-	-	0,35	0,55	-0,005	0,27	0,35	0,03
CO										-	-	-	0,30	0,47	0,002
ACH													-	-	-

Dessa forma, essa seleção em  $A_{EL}$  gera um ganho direto, nela própria, da ordem de 54,0%, quando a seleção é feita na proporção de 2 para 13 clones.

Para as características em que as correlações genotípicas foram de baixa magnitude, os respectivos ganhos indiretos foram relativamente ineficientes, ou seja, de baixa ESI (Tabela 6), demonstrando que, nesses casos, deve-se praticar a seleção direta, porém, sem se preocupar com reflexos nas outras características.

TABELA 6 Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%), para as características não destrutivas avaliadas na árvore viva.

	$A_{EL}$ (GD%= 54,0)		$DB_{Est}$ (GD%= 15,1)		$DRL_M$ (GD%=18,0)		CO (GD%=19,2)		ACH (GD%=3,2)	
	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI
$A_{EL}$	-	-	15,0	99,8	-1,8	9,9	-8,9	46,6	0,01	0,3
$DB_{Est}$	54,0	100	-	-	-1,7	9,8	-8,8	46,1	0,02	0,6
$DRL_M$	-4,4	8,2	-1,2	8,1	-	-	12,5	65,3	1,2	36,1
CO	-14,8	27,4	-4,1	27,1	8,4	46,6	-	-	1,3	41,4
ACH	0,2	0,3	0,06	0,4	6,1	34,2	10,6	55,2	-	-

Em que:  $A_{EL}$  = amplitude entre linhas de plantio;  $DB_{EST}$  = densidade básica estimada;  $DRL_M$  = deformação residual longitudinal média; CO = conicidade; ACH = achatamento.

### 3.4 Média de genótipos

Os valores médios, por clone, para as características não destrutivas avaliadas na árvore viva, estão apresentados na Tabela 7.

Pode-se verificar que, para a característica  $DB_{Est}$ , os clones 23 e 319 são os que apresentam os maiores valores de densidade básica estimada ( $DB_{Est}$ ) pela  $A_{EL}$ . As  $DB_{Est}$  desses clones foram, respectivamente, de 0,655 e 0,542  $g.cm^{-3}$ .

Esses dois clones também apresentaram os maiores valores de  $A_{EL}$ , sendo, respectivamente, de 63,0% e 38,5%. A seleção desses dois clones é indicada quando o aumento da densidade for alvo do melhoramento genético. Por outro lado, quando o interesse for a redução da densidade da madeira, os

clones 31 e 35 podem ser selecionados. As  $DB_{Est}$  e  $A_{EL}$  para esses clones apresentam, respectivamente, valores de  $0,448 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $0,449 \text{ g.cm}^{-3}$  e valores de  $A_{EL}$  de 18,1% e 18,2%.

As principais vantagens tecnológicas decorrentes do uso de clones com maior densidade da madeira estão relacionadas à produção de mourão e energia. Para o caso do uso de clones com madeira de baixa densidade, ressaltam-se aqueles para a produção de madeira serrada destinada à produção de móveis. Para a característica  $DRL_M$ , os clones 44 e 319 apresentam, respectivamente, valores de  $60 \mu\text{m}$  e  $59 \mu\text{m}$ . Portanto, são os desejáveis para a seleção, caso o objetivo do melhoramento seja a produção de madeira com baixos níveis de tensão de crescimento. Isso poderá propiciar a produção de madeira de melhor qualidade, reduzindo, assim, os principais defeitos decorrentes da tensão, como cerne quebradiço, fendas ou rachaduras de extremidade de tora e empenamentos das peças serradas (Garcia et al., 2001; Crêspo, 2000; Garcia, 1992; Nicholson, 1973).

TABELA 7 Valores médios de clones de *Eucalyptus* spp para as características não destrutivas avaliadas na árvore viva.

Clones	$A_{EL}$	$DB_{Est}$	$DRL_M$	CO	ACH
23	<b>63,0</b>	<b>0,655</b>	97,3	1,8	100,0
26	31,1	0,508	86,0	1,0	97,0
31	18,1	0,448	90,7	1,3	99,1
35	18,2	0,449	78,0	1,3	97,3
38	27,7	0,492	89,0	1,6	100,0
44	31,4	0,509	60,0	0,8	94,8
46	34,4	0,523	82,0	0,9	100,0
48	23,3	0,472	92,3	1,5	98,4
71	22,9	0,470	95,7	1,5	94,0
181	34,0	0,522	85,0	1,2	100,0
309	29,7	0,502	75,3	1,7	97,0
319	38,5	0,542	59,0	1,3	98,6
44 - JC	27,4	0,491	72,3	1,1	96,5

Em que:  $A_{EL}$  (%) = amplitude entre linhas de plantio;  $DB_{Est}$  ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) = densidade básica estimada;  $DRL_M$  ( $\mu\text{m}$ ) = deformação residual longitudinal média; CO ( $\text{cm.m}^{-1}$ ) = conicidade e ACH (%) = achatamento.

Assim, as reduções desses defeitos têm um resultado muito significativo na qualidade e no rendimento do produto final, proporcionando uma melhor aceitação da madeira no mercado.

Caso o interesse seja aumentar a DRL, ou seja, a tensão de crescimento, os clones 23 ( $DRL_M = 97,3 \mu\text{m}$ ) e 71 ( $DRL_M = 95,7 \mu\text{m}$ ) devem ser os preferidos.

Aumentos nas tensões de crescimento podem ser necessários em regiões predispostas aos ventos fortes, as quais necessitam do cultivo de árvores com maior estabilidade. Melo (2004) verificou que maiores níveis de tensão de crescimento nas árvores resultam em maiores níveis de tolerância destas às tempestades.

A união de duas ou mais características favoráveis em um único clone é importante quando se trata da produção de madeira para usos múltiplos. No caso do clone 23, observa-se que ele, além de apresentar a maior densidade ( $0,655\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), apresenta o maior valor de  $DRL_M$ . Isso sugere o seu uso para reflorestamento em regiões tradicionalmente produtoras de carvão vegetal e onde ocorrem grandes perdas de árvores pela ação de ventos fortes. Melo (2004) verificou também que existe uma tendência de as árvores mais densas serem menos susceptíveis aos danos provocado pelas tempestades. Além disso, o clone 23, cultivado no espaçamento de  $10,0 \times 4,0\text{m}$ , apresentou uma produtividade de  $307 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  aos 10 anos, sendo a mais alta entre os clones avaliados neste estudo.



## 4 CONCLUSÃO

Com base na interpretação dos resultados, pôde-se concluir que:

- o resistógrafo foi eficiente para estimar e para obter ganhos genéticos na densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp.;
- as variações entre os clones foram significativas para as características não destrutivas avaliadas na árvore viva;
- os valores de herdabilidade para  $A_{EL}$ ,  $A_{DL}$ ,  $A_M$  e  $DB_{Est}$  foram altos;
- as herdabilidades para  $DRL_{EL}$ ,  $DRL_{DL}$ ,  $DRL_M$ , CO e ACH foram de média magnitude;
- existe uma correlação genética entre a  $DRL_M$  x CO e entre a CO x ACH;
- os ganhos genéticos indiretos na CO, ACH e densidade da madeira foram baixos quando a seleção foi realizada para as DRLs;
- o extensômetro aplicado em árvores vivas foi ineficiente para promover ganhos genéticos na densidade básica da madeira.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, M. de F.C. **Propriedades tecnológicas relacionadas a tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake, utilizadas como indicadores para o melhoramento de madeira serrada.** 2002. 164p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira.** São Paulo, 1991. 154p.

CAIXETA, R.P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus*: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada.** 2000. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CARDOSO JÚNIOR, A.A. **Tensões de crescimento em *Eucalyptus* e suas relações com espaçamento, idade e material genético.** 2004. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CRÊSPO, E.A. de. **Tensão de crescimento e suas conseqüências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.** 2000. 120p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. SP.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 390p.

FERREIRA, S. **Produção e qualidade da madeira serrada de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.** 2003. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FERREIRA, S.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.da.; TRUGILHO, P.F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. 2004. **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.10-21, 2004.

GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação.** Brasília: IPEF, 1989. 11p. (Circular Técnica, 171).

GARCIA, J.N. **Estados de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada.** 1992. 262p. Tese (Doutorado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GARCIA, J.N.; CRÊSPO, E.A.; BAILLÈRES, H. Influence of log characteristics and machines performance on *Eucalyptus* board and splitting and board deflections. In: INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR, 15., 2001, Los Angeles. **Proceedings...** Berkeley: Wood Machining Institute, 2001. p.163-171.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental.** 13.ed. Piracicaba, SP: USP. 1990. 466p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL.  
**Norma para medição e classificação de toras de madeiras de folhosas.**  
Brasília, 1984. 42p.

INSTRUMENTA MECHANIK LABOR. **GmbH.** F-tools pro.Version 1.5.  
2000. Software.

LIMA, J.T.; HEIN, P.R.G.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M. Adequação do resistógraph® para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006. São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP: EBRAMEM, 2006.

LIMA, J.T.; SARTÓRIO, R.C.; TRUGILHO, P.F.; CRUZ, C.R.; VIEIRA, R.S. Avaliação da madeira de clones *Eucalyptus* spp com o resistograph para a comparação de sua densidade básica. **Scientia Forestalis**, 2007. No prelo.

LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S. Novas metodologias para avaliar variações nas características da madeira de eucalyptus. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras, MG: UFLA. Centro de Estudos em Recursos Naturais Renováveis, 2002. p.135-149.

MATOS, J.L.M. Métodos não destrutivos para avaliação da qualidade da madeira. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras, MG: UFLA. Centro de Estudos em Recursos Naturais Renováveis, 2002. p.30-63.

MELO, V.M. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.** 2004. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NICHOLSON, J.E. Growth stress differences in eucalypts. **Forest Science**, v.19, n.3, p.169-174, Sept. 1973.

OLIVEIRA, A.N. **Previsão do ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragem não destrutivas e destrutivas.** 2005. 78p. Tese (Doutorado em Floresta de Produção)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PÁDUA, F.A. **Estimativas de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*.** 2004. 66p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ROSS, R.J. BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. **For. Prod. Journal**, Madison, v.48, p.14-19, 1998.

SCHACHT, L. **Variação de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada em *Eucalyptus urophylla*.** 1998. 74p. Tese (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SOUZA, M.A.M. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones híbridos de *Eucalyptus*.** 2002. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; SILVA, J.R.M. CRUZ, C.R.; SORAGI, L.C.; ANDRADE, C.R. Avaliação de árvore matriz de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora* por métodos não destrutivos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...**, São Pedro, SP: EBRAMEM, 2006.

TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; BOTREL, M.C.G.; ANDRADE, C.R.; SORAGI, L.C. Utilização de métodos não destrutivos na avaliação de clones de *Eucalyptus spp.* In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP: EBRAMEM, 2006.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto, SP: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

XAVIER, G.K. **Divergencia genética em clones de *Eucalyptus* avaliadas por marcadores moleculares RAPD, e variações nas propriedades da madeira**. 2001. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

## **CAPÍTULO II**

### **MELHORAMENTO GENÉTICO DA QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA DE *EUCALYPTUS* PELA SELEÇÃO CONDUZIDA EM ÁRVORES VIVAS**

## RESUMO

RODRIGUES, Érica de Alvarenga Crespo. Melhoramento genético da qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus* pela seleção conduzida em árvores vivas. In: \_\_\_\_\_. **Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas.** 2007. Cap.2, p. 43-62. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil<sup>1</sup>.

As madeiras de *Eucalyptus* apresentam altos níveis de empenamentos e rachaduras nas extremidades de tábuas que dificultam a sua utilização para a produção de sólidos. Para contornar esses problemas, o melhoramento genético é uma importante ferramenta estratégica. Os objetivos do presente estudo foram avaliar a eficiência do resistógrafo e do extensômetro como métodos de avaliação não destrutivos de árvores, estimar os parâmetros fenotípicos, genéticos, ambiental e os ganhos genéticos para a redução dos defeitos da madeira serrada, ou seja, encurvamento, arqueamento e rachadura de extremidade de tábua. Para tanto, foram utilizados 13 clones de *Eucalyptus* com 10 anos de idade, cultivados no espaçamento de 10,0 x 4,0m. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Após a quantificação da amplitude (resistógrafo) e da deformação residual longitudinal (extensômetro), efetuou-se o desdobro das toras e a avaliação dos defeitos da madeira serrada (rachadura, arqueamento e encurvamento). Verificou-se alta herdabilidade para rachadura (84%) e média para o arqueamento (41%) e para encurvamento (62%). A amplitude, com alta herdabilidade (83%), foi altamente correlacionada com o arqueamento e rachadura da tábua. Os ganhos indiretos nessas características foram expressivos quando a seleção foi realizada na amplitude. O uso do resistógrafo mostrou-se eficiente para avaliar de forma não destrutiva os defeitos da madeira serrada.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, tensão de crescimento, rachadura, madeira serrada, empenamento.

---

<sup>1</sup> Comitê de orientação – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Orientador), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – orientador), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-orientador)

## **CHAPTER II**

### **GENETIC IMPROVEMENT OF THE *Eucalyptus* SAWN WOOD QUALITY BY SELCTION CONDUCTED IN LIVING TREE**



## ABSTRACT

RODRIGUES, Érica de Alvarenga Crespo. Genetic improvement of the *Eucalyptus* sawn wood quality by selection conducted in living trees. In: \_\_\_\_\_ . **Estimation of genetic, phenotypic and environmental parameters for *Eucalyptus* wood quality in living trees.** 2007. Chap. 2. p. 43-62. Thesis (Doctorate in Forestry) – Federal University in Lavras, MG, Brazil<sup>1</sup>.

*Eucalyptus* woods present high levels of deflection and splitting at the ends of board which make its utilization for production of sawn wood difficult. To overcome those problems, genetic improvement is an important strategic tool. The objectives of the present study were: *i*) to evaluate the efficiency of the Resistograph and extensometer as non-destructive methods; *ii*) to estimate the phenotypic, genetic, environmental parameters and the genetic gains for the reduction of, crook, bowing and splitting of board ends. For this, 13 *Eucalyptus* clones aged 10 years, cultivated at the spacing of 10.0 x 4.0 cm were utilized. The experiment was established in a completely randomized with three replicates. After quantifying the Amplitude by the Resistograph and longitudinal residual strains using an extensometer, the sawing of the boards and evaluation of the defects (splitting, conicity and bowing) were carried out. High heritability for splitting (84%), mean both for bowing (41%) and for crook (62%) were found. The amplitude, with high heritability (83%) was highly correlated with both crook and splitting of the board. The indirect gains in those characteristics were expressive when selection was accomplished in the Amplitude. Use of the Resistograph proved to be efficient to evaluate in a non-destructive way the defects of sawn wood.

**Key word;** *Eucalyptus*, growth stress, splitting saw wood, deflection

---

<sup>1</sup> Guidance committee – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Adviser), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – adviser), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-adviser)

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o uso dos *Eucalyptus* vem sendo reconhecido como uma das principais alternativas de suprimento de madeira serrada para a indústria de base florestal, em substituição àquelas de origem nativa. Isto se deve à exaustão das florestas nativas próximas aos grandes centros consumidores, às restrições de ordem ambiental na exploração da floresta Amazônica e às características edafoclimáticas brasileiras, as quais propiciam altas taxas de produtividade dos *Eucalyptus*. Entretanto, o rendimento no processamento primário de sua madeira é ainda baixo, devido aos defeitos, inerentes a estas espécies, que reduzem os seus valores como produtoras de sólidos.

Assim, a utilização de espécies de *Eucalyptus* para fins madeireiros defronta-se com limitações impostas pelas tensões de crescimento, que são muito comuns nesse gênero. As tensões de crescimento são responsáveis pelo aparecimento de rachaduras e empenamentos que dificultam a utilização do eucalipto na produção de madeira serrada. A densidade está correlacionada com um grande número de propriedades da madeira que, dependendo de suas magnitudes, revelam a sua adequação para os diversos usos industriais (Malan, 1995).

A avaliação da rachadura e do empenamento é realizada por meio de métodos destrutivos, tornando o processo demorado, trabalhoso e oneroso. Isso dificulta a avaliação e a classificação de grande quantidade de materiais genéticos, demandados pelos programas de melhoramento.

A utilização de métodos não destrutivos para as avaliações das tensões de crescimento e da densidade da madeira poderá, assim, possibilitar uma rápida avaliação de grande quantidade de árvores para permitir a condução de seleções mais intensas naquelas que apresentam qualidades mais desejáveis.

Tendo em vista o alto controle genético dessas características, o aumento na intensidade de seleção permitirá o alcance de ganhos genéticos na qualidade da madeira ainda mais expressivos. Isso poderá possibilitar a utilização da madeira de *Eucalyptus* em vários ramos industriais, com desempenho comparável ao da utilização das madeiras nativas tradicionais.

Dentre os vários métodos de avaliação não destrutiva das tensões de crescimento e densidade da madeira destacam-se o uso do extensômetro (Baillères, 1995) e do resistógrafo (Oliveira, 2005). A aplicabilidade do resistógrafo na estimativa da densidade da madeira foi constatada por Lima et al, (2006). O potencial de uso do extensômetro para avaliar indiretamente as tensões de crescimento foi verificado por Lima et al. (2004). Esses autores também enfatizam o uso dos referidos métodos de avaliação não destrutiva da madeira na condução de programas de melhoramento.

Quando se trata do melhoramento genético da qualidade da madeira serrada, principalmente em termos de redução dos níveis de rachadura, encurvamento e arqueamento, as avaliações destrutivas feitas após o desdobro das toras se tornam bastantes comprometidas. Isso é devido à impossibilidade de controle dos erros experimentais, principalmente no que se refere ao teor de umidade das toras, visto que ela se modifica, não somente em consequência do material genético em teste, mas do transporte e do armazenamento das toras no pátio das serrarias. Nessas condições, as toras se posicionam em ambientes pouco controlados devido às variações naturais, como temperatura, umidade relativa e circulação de ar, que interferem na secagem do material.

Tendo em vista que as características avaliadas em testes com erros experimentais pouco controláveis apresentam estimativas de baixa herdabilidade (Falconer, 1987), espera-se que se possam alcançar melhores ganhos genéticos de forma indireta, ou seja, pela seleção com base em características altamente

correlacionadas com a madeira serrada e obtidas pela amostragem não destrutiva.

Diante do exposto, visando auxiliar o estabelecimento de um programa de melhoramento genético da qualidade da madeira serrada, os objetivos deste estudo foram:

- avaliar a eficiência do resistógrafo e do extensômetro como métodos indiretos de avaliação não destrutiva da madeira serrada;
- estimar os parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais para os defeitos avaliados na madeira serrada (encurvamento, arqueamento e rachadura);
- estimar os ganhos genéticos diretos e indiretos para a redução dos defeitos da madeira serrada;
- selecionar clones de *Eucalyptus* com menores índices de rachadura, encurvamento e arqueamento.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A relação dos treze clones constituintes do material de estudo, bem como a descrição do local de cultivo das árvores, encontram-se no Capítulo 1.

### **2.1 Características não destrutivas avaliadas na árvore viva**

No campo, nas árvores vivas e após a retirada da casca a uma altura de 1,3 m do solo, procedeu-se à coleta dos dados de amplitude (A) com o uso de um resistógrafo. Imediatamente depois, obtiveram-se os dados de deformação residual longitudinal (DRL) com o uso de um extensômetro. Detalhes na obtenção desses dados foram apresentados no Capítulo 1. Além desses, obtiveram-se os dados de conicidade e achatamento da tora, cujas fórmulas também se encontram descritas no Capítulo 1.

### **2.2 Defeitos da madeira serrada**

#### **2.2.1 Desdobro das toras**

O método de desdobro utilizado foi o tangencial balanceado paralelo ao centro da tora. Este método de desdobro consiste na obtenção de peças tangenciais às camadas de crescimento, favorecendo um maior rendimento em madeira serrada (Ferreira, 2003).

Nesse método, a tora é colocada no carro porta-toras que ao passar pela serra de fita, permite a retirada da primeira costaneira. Após um giro de 180° na tora, são retiradas a segunda costaneira e a primeira tábuas. Girando-se a tora novamente em 180°, são retiradas mais duas tábuas. Com novo giro de 180° retorna-se ao lado oposto, de onde mais duas tábuas são retiradas e assim sucessivamente, até restar a última peça, também denominada de pranchão central.

## 2.2.2 Obtenção dos dados de defeitos da madeira serrada

### 2.2.2.1 Encurvamento e arqueamento

Consideraram-se o encurvamento e o arqueamento da tábua como sendo quaisquer distorções ocorridas na tábua avaliada, em relação aos seus planos principais.

O encurvamento é a flecha medida no plano perpendicular à face da tábua e foi quantificado pelo comprimento da flecha (F) em relação ao comprimento da peça (L), expresso pela Equação 1.

$$E = \frac{F}{L} \quad (1)$$

Em que:

E = encurvamento da tábua (mm/m);

F = flecha (mm);

L = comprimento da peça (m).

O arqueamento é a flecha medida no plano paralelo à face da tábua. Esse defeito foi quantificado pelo comprimento da flecha (f) em relação ao comprimento da peça, expresso pela Equação 2.

$$A = \frac{f}{L} \quad (2)$$

Em que:

A = arqueamento da tábua (mm/m);

f = flecha (mm);

L = comprimento da peça (m).

### **2.2.2.2 Rachadura na madeira serrada**

Consideraram-se as rachaduras como sendo as grandes aberturas radiais no topo de peças. O comprimento da rachadura foi determinado de acordo com a Equação 3. Foram medidas as rachaduras da madeira serrada no estado verde, em tábuas de 3 m de comprimento, imediatamente após o desdobro.

$$Cr = Crb + Crt \quad (3)$$

Em que:

Cr = comprimento da rachadura da peça serrada (cm);

Crb = comprimento da rachadura mais longa na extremidade da base (cm);

Crt = comprimento da rachadura mais longa na extremidade do topo (cm).

### **2.3 Análise dos dados**

O modelo estatístico para a análise de variância e as estimativas dos componentes de variância, herdabilidade, correlações entre características e as previsões de ganhos genéticos, diretos e indiretos, encontram-se detalhados no Capítulo 1.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para os defeitos da madeira serrada

Na Tabela 1 são apresentadas a análise de variância e a estimativa dos parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais para os defeitos da madeira serrada, ou seja, para o encurvamento, o arqueamento e a rachadura de extremidade de tábuas. Verifica-se que existe diferença significativa ( $p < 0,01$ ), pelo teste F, entre os clones estudados, para todas as características avaliadas, sendo elas encurvamento, arqueamento e rachadura.

Os valores médios encontrados para encurvamento, arqueamento e rachadura foram, respectivamente, de 0,25 mm/m; 0,1 mm/m e 19,1cm. Essas médias de defeitos da madeira serrada foram semelhantes às encontradas por Crêspo (2000) e Garcia et al. (2001). Para *E. grandis* e *E. saligna*, Rocha & Tomaselli (2002) encontraram valores superiores para o encurvamento (2,26 e 2,35 mm/m), para o arqueamento (0,15 e 0,23mm/m) e para a rachadura (19,08 e 30,77cm). Scanava Júnior (2002) encontrou valores de 22,9cm para a rachadura de extremidade de tábuas para o *E. urophylla*.

Observa-se, na Tabela 8, que os coeficientes de variação experimental ( $CV_e$ ) foram de 24,8; 28,4 e 25,4 para o encurvamento, arqueamento e rachadura de extremidade de tábuas, respectivamente. Esses coeficientes, considerados altos, podem ser decorrentes das dificuldades encontradas no controle experimental e na coleta de dados. Isso ocorreu pela dificuldade de padronização no transporte e no acondicionamento das toras. Como exemplo, pode-se citar a variação nos teores de umidade da tora, em função de suas posições nas pilhas.

Os coeficientes de variação genéticos ( $CV_g$ ) foram de 18,4; 13,9 e de 33,7 e as razões  $CV_g/CV_e$  foram de 0,7; 0,5 e 1,3, respectivamente, para



encurvamento, arqueamento e para rachadura de extremidade de tábua (Tabela 1). Comparando esses valores e considerando as estimativas das herdabilidades, 62% (encurvamento), 41% (arqueamento) e 84% (rachadura), podem-se prever ganhos mais significativos para a redução das rachaduras de extremidades de tábuas. Considerações mais detalhadas sobre os ganhos genéticos serão feitas posteriormente. Herdabilidades semelhantes para rachadura foram encontradas por Souza (2002) e Adorno (2002), que verificaram um coeficiente de 86,5% e 98%, respectivamente.

TABELA 1 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para os defeitos da madeira serrada de *Eucalyptus* spp.

		Defeitos da madeira serrada		
		Quadrado médio		
FV	GL	Encurvamento (mm/m)	Arqueamento (mm/m)	Rachadura (cm)
Clone	12	0,01 **	0,001 **	148,3 **
Resíduo	26	0,003	0,0009	23,7
Média		0,3	0,1	19,1
	CV <sub>e</sub> (%)	24,8	28,4	25,4
	CV <sub>g</sub> (%)	18,4	13,9	33,7
	$\sigma^2_f$	0,003	0,0005	49,4
	$\sigma^2_e$	0,001	0,0003	7,8
	$\sigma^2_g$	0,002	0,0002	41,5
	H <sup>2</sup> <sub>c</sub> (%)	62	41	84
	CV <sub>g</sub> /CV <sub>e</sub>	0,7	0,5	1,3

Em que: \*\* Significativo, pelo teste de F à probabilidade de (  $p \leq 0,01$ ); CV<sub>e</sub> = coeficiente de variação experimental; CV<sub>g</sub> = coeficiente de variação genética;  $\sigma^2_f$  = variação fenotípica;  $\sigma^2_e$  = variação ambiental;  $\sigma^2_g$  = variação genética; H<sup>2</sup><sub>c</sub> = coeficiente de herdabilidade; CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub> = índice de variação.

### 3.2 Estimativas das correlações e previsões de ganhos genéticos

As estimativas das correlações fenotípicas, genéticas e ambientais entre os defeitos da madeira serrada encontram-se na Tabela 2, na qual observa-se que as correlações foram de média a alta magnitude. As correlações genéticas, que são de interesse para a obtenção de ganhos indiretos na qualidade da madeira

serrada, somente assumiram valores favoráveis à seleção quando a rachadura de extremidade de tábuas foi envolvida. Essas correlações variaram de 0,5 (ENC x RACH) a 0,8 (ARQ X RACH).

TABELA 2 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genética ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), para os defeitos da madeira serrada de *Eucalyptus* spp.

	Encurvamento			Arqueamento			Rachadura		
	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$
Encurvamento	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	-0,008
Arqueamento				-	-	-	0,4	0,8	-0,1
Rachadura							-	-	-

Na Tabela 3 estão apresentadas as magnitudes dos ganhos diretos (GD) e indiretos (GI). Considerando apenas as situações em que as correlações genéticas foram mais expressivas, verificou-se que a seleção para reduzir o arqueamento da madeira serrada resultará em um ganho direto, nela própria, de 13,8% e uma redução na RACH com GI de 25,6 %. Isso, comparado com o GD na própria RACH (47,6%), representa uma eficiência de seleção indireta (ESI) da ordem de 53,8%.

Pode-se verificar, também na Tabela 3, que quando a seleção é realizada para rachadura, no intuito de reduzir o encurvamento e o arqueamento da madeira serrada, os ganhos indiretos nessas características são da ordem de 13,8% (encurvamento) e de 15,0% (arqueamento). Esses ganhos indiretos proporcionarão uma eficiência de seleção indireta de 61,6% e de 108,5%, respectivamente.

Observa-se, portanto, que o ganho indireto no arqueamento propiciou um ganho genético maior do que quando a seleção é diretamente praticada para reduzir o próprio arqueamento. Isso ocorreu pelo fato da correlação genética entre as referidas características ser elevada (0,8) e a herdabilidade para arqueamento ser baixa (41%), em comparação com a herdabilidade da rachadura

(84%). Segundo Falconer (1987), a seleção indireta constitui importante estratégia para melhorar as características de baixa herdabilidade e ou que são consideradas de difícil medição.

O ganho indireto para encurvamento não foi tão expressivo quanto o ganho indireto no arqueamento. Entretanto, Crespo (2000) relata que a ocorrência do encurvamento não é tão preocupante, visto que o mesmo pode ser corrigido, em grande parte, durante o processo de secagem e ou no momento da utilização das tábuas, quando elas forem fixadas e ou reduzidas a comprimentos menores. Del Menezzi (1999) e Rocha & Tomaselli (2002) verificaram, também, uma redução no encurvamento após a secagem da madeira. Segundo esses autores, esse fato pode ser explicado pela restrição que é imposta pelo peso da própria pilha, durante o processo de secagem.

TABELA 3 Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%) quando a seleção for feita para os defeitos da madeira serrada de *Eucalyptus* spp.

	Encurvamento (GD% = 22,3)		Arqueamento (GD % = 13,8)		Rachadura (GD% = 47,6)	
	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI
ENC	-	-	2,9	21,3	21,7	45,5
ARQ	3,19	14,3	-	-	25,6	53,8
RACH	13,8	61,6	15,0	108,5	-	-

### 3.3 Média de genótipos

Os valores médios, por clone, para os defeitos da madeira serrada (encurvamento, arqueamento e rachadura) estão apresentados na Tabela 4, na qual observa-se que, geralmente, os clones com maiores níveis de rachaduras são os que apresentam maiores níveis de arqueamento e encurvamento. Os clones com menores níveis de rachadura foram o 31 e o 44, que apresentam, respectivamente, valores de 9,0 e 12,2cm.

TABELA 4 Valores médios de clones de *Eucalyptus* spp para os defeitos da madeira serrada.

Clones	Encurvamento (mm/m)	Arqueamento (mm/m)	Rachadura (cm)
23	0,3	0,13	35,8
26	0,3	0,16	27,1
31	0,2	0,10	9,0
35	0,3	0,09	23,3
38	0,4	0,08	21,5
44	0,2	0,12	12,2
46	0,2	0,11	13,7
48	0,3	0,09	17,3
71	0,2	0,09	16,5
181	0,2	0,08	19,9
309	0,2	0,11	17,8
319	0,3	0,13	20,8
44 - JC	0,2	0,09	13,5

#### **3.4 Correlações e ganhos genéticos entre as características não destrutivas avaliadas em árvores vivas e os defeitos da madeira serrada**

Como o interesse é avaliar um grande número de árvores, em pouco tempo e obter uma madeira com menor incidência de defeitos as correlações entre as características não destrutivas, avaliadas em árvores vivas e os defeitos da madeira serrada tornam-se mais interessantes.

Pelos dados da Tabela 5 observa-se que as correlações que envolvem as características não destrutivas de deformação residual longitudinal média, conicidade e achatamento com os defeitos da madeira serrada, encurvamento, arqueamento e rachadura foram de baixa magnitude. Esse resultado indica uma possível ineficiência do uso dessas características não destrutivas para obter ganhos em termos de redução dos defeitos da madeira serrada.

Por outro lado, na Tabela 5, observa-se que a amplitude e a densidade básica estimada pela amplitude são correlacionadas com o arqueamento e com a rachadura, exceto com o encurvamento da madeira serrada.

TABELA 5 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genética ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), entre as características não destrutivas avaliada na árvore viva e os defeitos da madeira serrada.

	Encurvamento (ENC)			Arqueamento (ARQ)			Rachadura (RACH)		
	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$
$A_{EL}$	-0,02	0,02	-0,27	0,47	0,75	0,005	0,68	0,75	0,08
$DB_{Est}$	-0,02	0,01	0,27	0,47	0,75	0,005	0,68	0,75	0,07
$DRL_M$	-0,20	-0,10	-0,45	0,07	0,17	-0,07	0,04	0,04	0,02
CO	-0,22	-0,28	-0,14	-0,14	-0,33	0,03	-0,09	-0,05	-0,22
ACH	-0,15	-0,14	0,17	0,25	0,27	0,26	-0,10	-0,15	0,08

Em que:  $A_{EL}$  = amplitude entre linhas de plantio;  $DB_{Est}$  = densidade básica estimada;  $DRL_M$  = deformação residual longitudinal média; CO = conicidade; ACH = achatamento.

Considerando apenas as correlações genéticas envolvendo o arqueamento e a rachadura, nota-se que elas assumiram valores de 0,75 ( $A_{EL}$  x ARQ e  $DB_{Est}$  x ARQ) e 0,75 ( $A_{EL}$  x RACH e  $DB_{Est}$  x RACH). Isso indica que a redução da  $A_{EL}$  e, conseqüentemente, da  $DB_{Est}$ , pode gerar ganhos indiretos na redução do arqueamento e da rachadura da madeira serrada.

Os ganhos indiretos nos defeitos da madeira serrada, decorrentes da seleção na amplitude e  $DB_{Est}$ , estão apresentados na Tabela 6. Verifica-se que a seleção para reduzir  $A_{EL}$  resultará em uma redução da ordem de 15,7% no arqueamento e 38,0% na rachadura da madeira serrada. Isso corresponde a uma eficiência de seleção indireta de 113,0% e de 80,0% respectivamente.

A eficiência de seleção indireta evidencia a aplicabilidade do resistógrafo para identificar e classificar clones em programas de seleção. A velocidade e a praticidade na obtenção dos dados de amplitude em condições de campo permitem alcançar ganhos genéticos mais expressivos, pois, com essas vantagens, facilmente se pode aumentar a intensidade de seleção.

Ganhos indiretos no arqueamento e na rachadura gerados pela seleção na  $DB_{Est}$  foram da mesma magnitude, o que é de se esperar, visto que  $DB_{Est}$  foi obtida pela amplitude gerada pelo resistógrafo.

Segundo Malan (1984), as reduções nos níveis de tensão de crescimento refletem reduções na densidade básica. Considerando essa relação pode-se inferir que a seleção de clones com menor densidade recaia nos clones de menor tensão de crescimento. Portanto, essa relação entre densidade e tensão de crescimento pode ser a causa mais provável para explicar as magnitudes dos ganhos indiretos na qualidade da madeira serrada.

A eficiência de seleção indireta para arqueamento maior que 100% ocorreu pelo fato de que a correlação genética entre as características em seleção é relativamente alta (0,75) e a herdabilidade do arqueamento é relativamente baixa (41%), comparada com a herdabilidade da amplitude (83%) e da densidade básica estimada (93%). Esses valores de herdabilidade para características  $A_{EL}$  e  $DB_{Est}$ , bem como os componentes de variância foram relatados no Capítulo 1.

TABELA 6 Ganho genético direto (GD), indireto (GI) e eficiência de seleção indireta (ESI) entre as características não destrutivas avaliadas na árvore viva e defeitos da madeira serrada.

	Encurvamento (GD% = 22,35)		Arqueamento (GD% = 13,83)		Rachadura (GD% = 47,64)	
	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI
$A_{EL}$	0,6	2,8	15,7	113,0	38,0	80,0
$DB_{Est}$	0,5	2,3	15,7	113,0	38,0	80,0
$DRL_M$	-2,6	-11,6	3,2	23,2	2,2	4,6

## 4 CONCLUSÕES

As variações entre os clones são significativas para o encurvamento, arqueamento e para a rachadura da madeira serrada.

As herdabilidades para encurvamento e arqueamento foram de média magnitude.

Existe alta correlação genética entre arqueamento e rachadura da madeira serrada.

Os ganhos genéticos indiretos no arqueamento, encurvamento e rachadura de tábuas podem ser eficientemente alcançados, quando se seleciona para a amplitude ou para a densidade básica estimada pela amplitude.

O resistógrafo mostrou-se eficiente para avaliar e selecionar materiais genéticos no campo.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, M. de F.C. **Propriedades tecnológicas relacionadas a tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake, utilizadas como indicadores para o melhoramento de madeira serrada.** 2002. 164p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

BAILLÈRES, H.; CHANSON, B.; FOURNIER, M.; TOLLIER, M.T.; MONTIES, B. Structure, composition chimique et retraits de maturation du bois chez les clones d' *Eucalyptus*. **Annals Science Forest**, Paris, v.52, n.2, p.157-172, 1995.

CRÊSPO, E.A. de. **Tensão de crescimento e suas conseqüências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.** 2000. 120p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *E. grandis* e *E. cloeziana*.** 1999. 100p. Tese (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

FALCONER, D.S. **Introdução a genética quantitativa.** Viçosa, MG: UFV, 1987. 279p.

FERREIRA, S. **Produção e qualidade da madeira serrada de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.** 2003. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GARCIA, J.N.; CRÊSPO, E.A.; BAILLÈRES, H. Influence of log characteristics and machines performance on *Eucalyptus* board and splitting and board deflections. In: INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR, 15., Los Angeles, 2001. **Proceedings...** Berkeley: Wood Machining Institute, 2001. p.163-171.



LIMA, J.T.; HEIN, P.R.G.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M. Adequação do resistógraph® para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP: EBRAMEM, 2006.

LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S., CRUZ, C.R. Deformação residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, 2004.

MALAN, F.S. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba, SP: IPEF/IPT, 1995. p.1-19.

OLIVEIRA, A.N. **Previsão do ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragem não destrutivas e destrutivas.** 2005. 78p. Tese (Doutorado em Floresta de Produção)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ROCHA, M.P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.8, n.2, p.70-83, 2002.

SCANAVA JÚNIOR, L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake e de seu potencial para utilização em serraria.** 2002. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SOUZA, M.A.M. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones híbridos de *Eucalyptus*.** 2002. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

### **CAPÍTULO III**

#### **MELHORAMENTO GENÉTICO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus* PELA SELEÇÃO CONDUZIDA EM ÁRVORES VIVAS**

## RESUMO

RODRIGUES, Érica de Alvarenga Crespo. **Melhoramento genético das propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* pela seleção conduzida em árvores vivas.** In: \_\_\_\_\_. Estimção de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas. 2007. Cap.3, p. 63-82. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil<sup>1</sup>.

No atual estágio de melhoramento genético, a estratégia mais lógica é a definição de poucos índices de qualidade da madeira para serem estudados com maior detalhamento sob o ponto de vista da amostragem e da obtenção de ganhos genéticos que refletem maiores ganhos econômicos. Os objetivos do presente estudo foram estimar os parâmetros fenotípicos, genéticos, ambientais e os ganhos genéticos para as seguintes propriedades físicas da madeira: densidade básica, contrações radial, tangencial, volumétrica e para o coeficiente de anisotropia. Estimar os ganhos genéticos indiretos nas propriedades físicas da madeira pela seleção para amplitude e para a deformação residual longitudinal avaliada de forma não destrutiva. Para tanto, foram utilizados 13 clones de *Eucalyptus* com 10 anos de idade, cultivados no espaçamento de 10,0 x 4,0m. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. As medições não destrutivas foram avaliadas por meio do extensômetro e do resistógrafo. Após a quantificação dessas características, efetuou-se o desdobro das toras e foram retiradas amostras de 70,0 cm no topo de cada tábua para a confecção dos corpos-de-prova e determinação das propriedades físicas da madeira. Os valores de herdabilidade para a densidade básica, contrações radial, tangencial, volumétrica e para o coeficiente de anisotropia foram considerados altos 96; 90; 94; 92 e 72, respectivamente. Observa-se que os ganhos genéticos indiretos na densidade básica podem ser eficientemente alcançados quando se seleciona para a amplitude, fornecida pelo resistógrafo, ou para a densidade básica, estimada pela amplitude. O resistógrafo mostrou-se eficiente para avaliar e selecionar materiais genéticos no campo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, resistógrafo, extensômetro, densidade básica, estabilidade dimensional.

---

<sup>1</sup> Comitê de orientação – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Orientador), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – orientador), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-orientador)

### **CHAPTER III**

#### **GENETIC IMPROVEMENT OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF *Eucalyptus* WOOD BY SELECTION CONDUCTED IN LIVING TREES.**

## ABSTRACT

RODRIGUES, Érica de Alvarenga Crespo. **Genetic improvement of the physical properties of *Eucalyptus* wood by selection conducted in living trees.** In: \_\_\_\_\_. Estimation of genetic, phenotypic and environmental parameters for *Eucalyptus* wood quality in living trees. 2007. Chap. 3, p. 63-82. Thesis (Doctorate in Forestry) – Federal University of Lavras, MG, Brazil<sup>1</sup>.

In the present stage of genetic improvement, the most logical strategy is the definition of few indices of wood quality to be more detailing studied under the view of sampling and obtaining of genetic gains which reflects higher economic parameters. The objectives of the present study were: *i*) to estimate the phenotypic, genetic, environmental parameters and the genetic gains for physical properties of wood: basic density, radial, tangential, volumetric shrinkage and for the anisotropy coefficient; *ii*) to estimate the indirect genetic gains in the physical properties of wood by the selection of both Amplitude and longitudinal residual strains evaluated by non-destructive methods. Thus, 13 *Eucalyptus* clones aged 10 years, cultivated at the spacing 10.0 x 4.0 cm were utilized. The experiment was established in a completely randomized design with three replicates. The non-destructive measures were evaluated by means of the extensometer and Resistograph. After the quantification of those characteristics, the sawing of the logs was performed and 70.0 cm samples were removed from the top of each board for the confection of specimen preparation and determination of physical properties of wood. The heritability values for the basic density, radial, tangential, volumetric shrinkage and anisotropy coefficient were considered high 96, 90, 94, 92 and 72, respectively. It was found that indirect genetic gains in the basic density can be efficiently reached when selecting for Amplitude, determined by the Resistograph, or for basic density estimated by Amplitude. The Resistograph proved to be efficient to evaluate genetic materials in the field.

Key words: *Eucalyptus*, Resistograph, extensometer, basic density, dimensional stability

---

<sup>1</sup> Guidance committee – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Adviser), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – adviser), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-adviser)

## 1 INTRODUÇÃO

Nos programas de melhoramento florestal avaliavam-se as árvores em termos de crescimento, forma, adaptabilidade e resistência a doenças e pragas, sem se preocupar em incluir nessas avaliações as propriedades da madeira. Os progressos na produtividade florestal foram rapidamente alcançados nas últimas décadas. Cotterill & Dean (1990) mencionam ganhos em produtividade da ordem de 60% para os *Eucalyptus*. Entretanto, hoje, o objetivo do melhoramento florestal não é apenas a geração de florestas com alta produção de madeira. À produtividade também devem-se incorporar outros índices de qualidade da madeira que propiciam a produção de produtos industrializados com alto conteúdo tecnológico e, portanto, de maior valor comercial.

A qualidade dessa matéria-prima pode ser entendida como um conjunto de características inerentes à madeira, que indica sua adequação para um determinado uso ou conjunto de usos e a sua capacidade para preencher os requisitos necessários à fabricação de um determinado produto (Mora et al., 1983; e Kageyama et al., 1983). Assim, para estabelecer um programa de melhoramento florestal, é importante que o setor industrial defina os atributos da madeira com níveis de qualidade ideais para a produção de seus produtos finais.

Um dos atributos de qualidade mais utilizado nos vários setores da produção industrial madeireira é a densidade básica. Ela é, sem dúvida, uma das propriedades mais importantes da madeira, sendo considerada um índice de qualidade que indica o uso final da madeira. Em setores, como o siderúrgico, o de celulose e papel e o madeireiro, a densidade pode contribuir de forma significativa na promoção de ganhos do processo e na alteração das características dos produtos (Shimoyama, 1990).

Outra característica da madeira, comumente utilizada como índice de qualidade, é a retratibilidade. Essa característica, geralmente, está associada a

empenamentos e rachaduras nas peças serradas e é considerada um dos principais problemas relacionados com a produção de madeira serrada dos *Eucalyptus*.

No atual estágio de melhoramento genético da madeira, a estratégia mais lógica é a definição de poucos índices de qualidade para serem estudados com maior detalhamento, sob o ponto de vista da amostragem e da obtenção de ganhos genéticos que refletem maiores ganhos econômicos.

Como, em geral, a avaliação tecnológica da madeira é uma prática onerosa, ela tem se restringido à caracterização de uma pequena quantidade de materiais genéticos. Assim, a utilização de métodos não destrutivos possibilitará uma rápida avaliação de grande quantidade de árvores, permitindo a condução de uma seleção mais intensa de árvores desejáveis, as quais podem ser clonadas em massa para a formação de florestas clonais.

Diante do exposto, visando auxiliar o estabelecimento de um programa de melhoramento genético para as propriedades físicas da madeira, os objetivos deste estudo foram:

- estimar os parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais, bem como ganhos genéticos diretos para as seguintes propriedades físicas da madeira: densidade básica, contrações radial, tangencial, volumétrica e o coeficiente de anisotropia;
- estimar os ganhos genéticos indiretos nas referidas propriedades físicas da madeira pela seleção para amplitude e deformação residual longitudinal, avaliadas de forma não destrutiva na árvore viva;
- selecionar clones de *Eucalyptus* com menor e ou maior percentagem de contrações e densidade básica.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A relação dos treze clones constituintes do material de estudo, bem como a descrição do local de cultivo das árvores, está relatada no Capítulo 1.

### **2.1 Características não destrutivas avaliadas na árvore viva**

No campo, nas árvores vivas e, após a retirada da casca a uma altura de 1,3 m do solo, procedeu-se a coleta dos dados de Amplitude (A) com o uso de um resistógrafo. Imediatamente depois, obtiveram-se os dados de deformação residual longitudinal (DRL), com o uso de um extensômetro. Detalhes na obtenção desses dados foram apresentados no Capítulo 1. Além desses, obtiveram-se os dados de conicidade e achatamento da tora, cujas fórmulas também se encontram descritas no Capítulo 1.

### **2.2 Avaliação da densidade básica, das contrações radial, tangencial, volumétrica e do coeficiente de anisotropia**

Após o desdobro das toras, como descrito no Capítulo 2, retiraram-se as porções do topo de cada tábuas e pranchão central, cada uma com comprimento de 70 cm. Essas porções foram sarrafeadas no sentido longitudinal e os corpos-de-prova, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 2,5 cm, foram transversalmente retirados dos sarrafos, de modo a amostrar a madeira no sentido medula-casca. Essas amostras foram enviadas para o laboratório de tecnologia da madeira para o estudo da densidade básica e contração da madeira.

#### **2.2.1 Densidade básica**

Os corpos-de-prova foram confeccionados e numerados para a identificação do clone e do ramete. Em seguida, foram imersos em água para a completa saturação. Utilizou-se um paquímetro digital de precisão de 0,001 mm



para determinar as dimensões radiais, tangenciais e longitudinais do corpo-de-prova e uma balança digital com precisão de um centésimo de grama para tomada de peso. Posteriormente os corpos de prova foram colocados em estufa de circulação de ar, a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , até atingirem peso constante, sendo, então, pesados.

O volume das amostras foi determinado multiplicando-se as dimensões radiais, tangenciais e longitudinais e a densidade básica foi determinada pela relação entre a massa seca da amostra pelo seu volume completamente saturado.

### **2.2.2 Retratibilidade da madeira**

A metodologia adotada no ensaio seguiu a norma ASTM D143-94 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM, 1997). Os corpos-de-prova para o estudo da retratibilidade foram os mesmos utilizados no estudo de densidade básica da madeira.

As medições das dimensões tangenciais e radiais foram realizadas com um paquímetro digital, com precisão de 0,01mm, diretamente nas amostras, em locais previamente determinados e marcados.

As contrações totais tangenciais, radiais e volumétricas foram calculadas para a madeira na condição totalmente seca, usando como base da porcentagem a dimensão inicial da madeira, ou seja, na condição de saturação completa.

O coeficiente de anisotropia, definido como a relação entre a contração tangencial e a contração radial, foi também calculado. Esse coeficiente é utilizado com a finalidade de qualificar a madeira quanto aos problemas originários da secagem.

### **2.3 Análise dos dados**

O modelo estatístico usado e o delineamento da análise de variância e as estimativas dos componentes de variância, herdabilidade, correlações entre

características e as previsões de ganhos genéticos, diretos e indiretos, encontram-se detalhados no Capítulo 1.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para as propriedades físicas da madeira

Na Tabela 1 são apresentadas a análise de variância e a estimativa dos parâmetros genéticos para as seguintes propriedades físicas da madeira: contração radial (CR), contração tangencial (CT), contração volumétrica (CV), coeficiente de anisotropia (CA) e para a densidade básica (DB) da madeira de 13 clones de *Eucalyptus* spp.

Observa-se, na Tabela 1, que existe diferença significativa ( $p < 0,01$ ), pelo teste F, entre os clones estudados, para todas as características avaliadas, evidenciando que, pelo menos, a média de um dos clones difere estatisticamente das demais.

Na mesma Tabela, também é apresentado o valor médio encontrado para as contrações radial, tangencial e volumétrica e para o coeficiente anisotropia. Verifica-se que valores para essas contrações foram, respectivamente, 5,3%, 9,7%, 14,8%, e 1,9%. Esses valores encontram-se dentro da mesma faixa, para *Eucalyptus*, apresentada por Oliveira (2005), Caixeta (2003), Souza (2002) e Xavier (2001). Entretanto, Oliveira (1997) e Watai (1990), trabalhando com *E. urophylla* e Silva & Oliveira (2003), trabalhando com *E. saligna*, encontraram contrações superiores a 7%(CR), 12% (CT) e 20%(CV). Essas contrações encontradas por esses autores foram mais elevadas comparadas com os valores aqui apresentados, indicando que as espécies estudadas, neste trabalho, possuem baixa instabilidade dimensional.

TABELA 1 Resumo da análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para a densidade básica, contrações radiais, tangenciais, volumétricas e para o coeficiente de anisotropia de clones de *Eucalyptus* spp.

Características destrutivas da madeira						
Quadrado médio						
FV	GL	Contração radial	Contração tangencial	Contração volumétrica	Coeficiente de anisotropia	Densidade básica
Clone	12	1,7 **	7,9 **	15,9 **	0,09 **	0,009 **
Resíduo	26	0,1	0,4	1,2	0,02	0,0002
Média		5,3	9,7	14,8	1,9	0,507
CV <sub>e</sub> (%)		7,7	6,6	7,6	8,5	3,3
CV <sub>g</sub> (%)		13,6	16,4	14,9	7,9	10,6
$\sigma^2_f$		0,6	2,6	5,3	0,03	0,003
$\sigma^2_e$		0,05	0,1	0,4	0,008	0,00009
$\sigma^2_g$		0,5	2,5	4,9	0,02	0,003
H <sup>2</sup> <sub>c</sub> (%)		90	94	92	72	96
CV <sub>g</sub> /CV <sub>e</sub>		1,7	2,4	1,9	0,9	3,2

Em que: \*\*, \* Significativo, pelo teste de F, á probabilidade de (  $p \leq 0,01$ ); CV<sub>e</sub> = coeficiente de variação experimental; CV<sub>g</sub> = coeficiente de variação genética;  $\sigma^2_f$  = variação fenotípica;  $\sigma^2_e$  = variação ambiental;  $\sigma^2_g$  = variação genética; H<sup>2</sup><sub>c</sub> = coeficiente de herdabilidade; CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub> = índice de variação.

Os coeficientes de variação experimental para as CR, CT, CV e CA foram de 7,7; 6,6; 7,6 e 8,5, respectivamente. Podendo-se concluir que esses coeficientes são considerados baixos e indicam que a coleta de dados foi eficiente e ou a escolha do delineamento experimental foi adequada.

Os coeficientes de variação genético foram de 13,6% (CR), 16,4% (CT) e 14,9% (CV) e de 7,9% (CA). Como o  $CV_e$  para o coeficiente de anisotropia foi maior que o  $CV_g$ , a razão  $CV_g/CV_e$  foi de apenas 0,9, sendo, portanto, muito inferior aos valores verificados para as contrações da madeira, que foram superiores a 1 (Tabela 1). Isso indica que se podem obter, na seleção de genótipos superiores, ganhos genéticos mais expressivos para a CR, CT e CV.

As herdabilidades encontradas para as contrações foram de 90% (CR), 94% (CT), 92% (CV) e 72 para o CA. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Oliveira (2005), Souza (2002), Xavier (2001) e Moura (2000) e indicam as boas perspectivas para a obtenção de ganhos nas referidas propriedades e, conseqüentemente, melhorando a estabilidade dimensional da madeira. As estimativas desses ganhos serão apresentadas posteriormente.

Para a característica densidade básica estimada em laboratório, o valor médio avaliado foi de  $0,507\text{g.cm}^{-3}$ . O coeficiente de variação experimental ( $CV_e=3,3\%$ ) foi muito inferior ao coeficiente de variação genético ( $CV_g=10,6$ ). Conseqüentemente, a razão  $CV_g/CV_e$  de 3,2 foi extremamente alta. Considerando que a herdabilidade também foi muito alta (96%), pode-se deduzir que a seleção de clones superiores propiciará ganhos genéticos muito significativos. As estimativas desses ganhos serão apresentadas posteriormente. Altos valores de herdabilidade para densidade básica da madeira de *Eucalyptus* também foram verificados por Botrel (2006), Oliveira (2005), Moura (2000) e Xavier (2001).

### **3.2 Estimativas das correlações e ganhos genéticos nas propriedades físicas da madeira**

Na Tabela 2, são mostradas as estimativas de correlações fenotípicas, genéticas, e ambientais entre as características destrutivas da madeira. Nessa mesma Tabela, observa-se que as correlações entre as contrações com densidade básica (DB) foram de média magnitude. A correlação genética, que é de interesse para a obtenção de ganhos indiretos na densidade da madeira pela seleção nas contrações, variou de 0,36 (CT x DB) a 0,67 (CR X DB). Esse último valor encontrado de correlação apresenta vantagens para a seleção indireta, ou seja, para diminuir ou aumentar a DB, dependendo do uso da madeira.

Trugilho et al. (2004) e Souza (2002) verificaram correlações semelhantes entre a DB x CR. Considerando a referida correlação como principal resultado, pode-se mencionar, de acordo com Tsoumis (1991), a obtenção de maior quantidade de massa lenhosa por volume de madeira, ou seja, menos espaços vazios e maior espessura das paredes celulares. Entretanto, Scanavaca Júnior (2002), Chafe (1986) e Malan & Verryyn (1996) não encontraram correlação entre a densidade e as contrações.

Na Tabela 3, estão apresentadas as magnitudes dos ganhos diretos (GD) e indiretos (GI), verificando-se que a seleção para reduzir a contração radial resultará um ganho direto, nela própria, de 20% e uma redução na DB, como GI, de 10,6%. Isso, comparado com o GD na própria DB (16,2%), representa uma eficiência de seleção indireta (ESI) da ordem de 65,3%.

TABELA 2 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genética ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), entre as propriedades físicas da madeira.

	Contração radial			Contração tangencial			Contração volumétrica			Densidade básica		
	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$
CR	-	-	-	0,85	0,89	0,39	0,90	0,93	0,69	0,65	0,67	0,34
CT				-	-	-	0,98	1	0,73	0,37	0,36	0,46
CV							-	-	-	0,39	0,40	0,25
DB										-	-	-

Na Tabela 3 também são apresentados todos os possíveis ganhos indiretos, porém os de interesse prático de melhoramento são aqueles relatados com os ganhos indiretos na DB, que é uma característica que está correlacionada com várias outras da madeira.

Os ganhos indiretos nas contrações, nos diferentes planos, têm ESI próxima de 100%. Podem-se utilizar apenas os valores de CR como guia para o aumento da estabilidade dimensional da madeira e para a referida redução da densidade básica. Esses dois ganhos podem propiciar a produção de madeira com maior qualidade para uso na indústria moveleira (Scanava Júnior, 2002).

TABELA 3 Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%) para as propriedades físicas da madeira.

	Contração radial (GD% = 20,0)		Contração tangencial (GD% = 24,5)		Contração volumétrica (GD% = 22,1)		Densidade básica (GD% = 16,2)	
	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI
	CR	-	-	21,5	87,5	20,4	92,2	10,6
CT	18,3	91,7	-	-	22,5	101,5	5,9	36,5
CV	18,8	93,9	24,2	98,5	-	-	6,4	39,6
DB	13,9	69,9	9,2	37,3	9,2	41,7	-	-

### 3.3 Média de genótipos

Os valores médios, por clone, para as características destrutivas da madeira estão apresentados na Tabela 4. No contexto da seleção para CR, os

clones a serem selecionados serão o 31 e 71 que apresentam, respectivamente, valores de 4,0% e 4,7%. Pelos dados da Tabela 4, pode-se observar que esses dois clones, além de possuírem baixos valores de DB (0,453 e 0,467g.cm<sup>-3</sup>), apresentam as menores CT (7,0% e 8,1%) e CV (11,0% e 12%).

TABELA 4 Valores médios de clones de *Eucalyptus* spp para as propriedades físicas da madeira.

Clones	Contração radial (%)	Contração tangencial (%)	Contração volumétrica (%)	Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )
23	6,8	11,6	17,9	0,658
26	5,7	10,4	15,7	0,504
31	4,0	7,0	11,0	0,453
35	6,0	11,9	18,6	0,449
38	4,9	8,3	13,1	0,468
44	4,9	9,1	13,7	0,501
46	5,7	10,5	15,7	0,541
48	5,2	11,7	16,5	0,486
71	4,7	8,1	12,7	0,467
181	6,4	11,2	17,1	0,518
309	5,0	8,3	13,0	0,534
319	5,1	8,9	13,9	0,536
44 - JC	4,7	8,5	13,1	0,478

### 3.4 Correlações e ganhos genéticos entre as características não destrutivas, avaliadas na árvore viva e as propriedades físicas da madeira

Do ponto de vista prático, para o uso de índices de seleção mais rigorosos e, conseqüentemente, para o alcance de ganhos genéticos mais expressivos na estabilidade e na densidade da madeira, as correlações entre as características não destrutivas, avaliadas em árvores vivas e as propriedades físicas da madeira, obtidas pela amostragem destrutiva, tornam-se mais interessantes. Pela Tabela 5, que apresenta as correlações fenotípicas, genéticas e ambientais, observa-se que as correlações que envolvem a deformação residual longitudinal e os graus de conicidade e achatamento da tora foram de baixa



magnitude, indicando a ineficiência do uso destas para obter ganhos nas propriedades físicas da madeira.

Por outro lado, na Tabela 5, observa-se que a amplitude e a densidade básica estimadas pela amplitude são altamente correlacionadas com as propriedades físicas da madeira.

TABELA 5 Correlação fenotípica ( $r_f$ ), genética ( $r_g$ ) e ambiental ( $r_e$ ), entre as propriedades físicas da madeira com as características não destrutivas avaliadas na árvore viva ).

	Contração radial			Contração tangencial			Contração volumétrica			Densidade básica		
	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$	$r_f$	$r_g$	$r_e$
$A_{EL}$	0,65	0,75	-0,49	0,34	0,37	-0,26	0,38	0,43	-0,31	0,96	1,00	0,01
$DB_{Est}$	0,65	0,75	-0,50	0,34	0,37	-0,26	0,38	0,43	-0,31	0,96	1,00	0,03
$DRL_M$	0,34	0,45	-0,24	0,51	0,59	0,07	0,46	0,55	-0,06	0,05	0,07	-0,13
CO	0,24	0,42	-0,30	0,35	0,56	-0,37	0,34	0,55	-0,03	-0,03	0,02	-0,47
ACH	0,34	0,39	0,13	0,48	0,58	-0,03	0,46	0,54	0,09	0,04	0,04	0,01

Em que:  $A_{EL}$  = amplitude entre linhas de plantio;  $DB_{Est}$  = densidade básica estimada;  $DRL_M$  = deformação residual longitudinal média; CO = conicidade e ACH = achatamento.

Considerando apenas as correlações genéticas envolvendo a CR e DB, devido ao interesse de seleção anteriormente discutido, nota-se que elas assumiram valores de 0,75 ( $A_{EL}$  x CR e  $DB_{Est}$  x CR) e 1,0 ( $A_{EL}$  x DB e  $DB_{Est}$  x DB). Isso indica que a redução da amplitude entre linhas de plantio ( $A_{EL}$ ) e, conseqüentemente, da densidade básica estimada ( $DB_{Est}$ ), pode gerar ganhos indiretos na redução da contração radial e na densidade básica, avaliada no laboratório e com amostragem destrutiva.

Os ganhos indiretos nas propriedades físicas decorrentes da seleção na amplitude e  $DB_{Est}$  estão apresentados na Tabela 6. Verifica-se que a seleção para  $A_{EL}$  ou para  $DB_{Est}$  resultará em uma redução da contração radial da ordem de 15,4%. Isso corresponde a uma eficiência de seleção indireta (ESI) de 77,0% . Ganho indireto em DB, gerado pela seleção em  $A_{EL}$ , foi de 16,1%,

correspondendo em uma ESI de 99,5%. Isso evidenciou a aplicabilidade do resistógrafo para acelerar os programas de seleção e para alcançar ganhos genéticos na densidade da madeira mais expressivos.

Ganhos indiretos em CR e DB, gerados pela seleção na  $DB_{Est}$ , foram da mesma magnitude, o que é de se esperar, visto que  $DB_{Est}$  foi obtida pela amplitude gerada pelo resistógrafo.

TABELA 6 Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%) quando a seleção for feita nas características não destrutivas avaliadas na árvore viva e propriedades físicas da madeira.

	Contração radial (GD% = 20,0)		Contração tangencial (GD% = 24,5)		Contração volumétrica (GD% = 22,1)		Densidade básica (GD% = 16,2)	
	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI
$A_{EL}$	15,4	77,0	9,2	37,7	9,6	43,7	16,1	99,5
$DB_{Est}$	15,4	77,0	9,2	37,7	9,7	43,8	16,1	99,5
$DRL_M$	8,4	42,1	13,1	53,3	11,3	51,1	1,1	6,9
CO	6,7	33,5	10,6	43,2	9,6	43,3	0,3	1,7
ACH	7,0	35,2	12,6	51,3	10,7	48,7	0,6	4,0

Em que:  $A_{EL}$  (%) = amplitude entre linhas de plantio;  $DRL_M$  ( $\mu m$ ) = deformação residual longitudinal média;  $DB_{Est}$  ( $g.cm^{-3}$ ) = densidade básica estimada; CO( $cm.m^{-1}$ ) = conicidade e ACH (%) = achatamento.

#### 4 CONCLUSÕES

As variações entre os clones foram significativas para todas as características estudadas.

Os valores de herdabilidade para a densidade básica, contrações, radial, tangencial, volumétrica e para o coeficiente de anisotropia foram considerados altos.

Os valores de herdabilidade para amplitude, densidade básica estimada em árvores vivas foram altos.

Existe alta correlação genética entre a contração radial com a densidade básica.

Os ganhos genéticos indiretos na densidade básica podem ser eficientemente alcançados quando se seleciona para a amplitude, ou para a densidade básica estimada pela amplitude.

O resistógrafo mostrou-se eficiente para avaliar e selecionar materiais genéticos no campo.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**. D143/94: standart methods of testing small clear specimens of timber. Denvers, 1997. 679p. p.23-53.

BOTREL, M.C.G. **Melhoramento genético do *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade do carvão vegetal**. 2006. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CAIXETA, R.P.; CARVALHO, D.; ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO, P.F. Variações genéticas em populações de *Eucalyptus* spp. Detectada por meio de marcadores moleculares. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.357-363, 2003.

CHAFE, S.C. Radial variation of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Wood Science and Technology**, v.20, n.4, p.253-262, 1986.

COTTERILL, P.P.; DEAN C.A. **Successful tree breeding with index selection**. Austrália: CSIRO Austrália, 1990p. 80p.

KAGEYAMA, P.Y.; MORA, A. L.; BARRICHELO, L.E.G. Variação genética para densidade da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1983, Belo Horizonte, MG. **Anais...** São Paulo: SBS, 1983. v.8, n.28, p.318-324.

MALAN, F.S.; VERRYIN, S.D. Effectof genotype-by-environment interaction on the wood properties and qualities of four-years-old *E. grandis* hybrids. **South African Forestry Journal**, n.176, p.47-53, July 1996.

MORA, A.B.; MARQUEA, L.E.G.; MIGLIORINI, A.J.; SANSIGOLO, C.A. Variação genética para densidade da madeira em progênies de *E. grandis* In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte, MG. **Anais...** São Paulo: SBS, 1983. p.318-324.

MOURA, M.C. de O. **Variações em características do crescimento em clones de *Eucalyptus***. 2000. 63p. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, A.N. **Previsão do ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragem não destrutivas e destrutivas.** 2005. 78p. Tese (Doutorado em Floresta de Produção)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, J.T. da S. **Caracterização da madeira de eucalipto para construção civil.** 1997. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana)-Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

SCANAVA JÚNIOR, L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake e de seu potencial para utilização em serraria.** 2002. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SOUZA, M.A.M. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones híbridos de *Eucalyptus*.** 2002. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

TRUGILHO, P.F.; SOUZA, M.A.M.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; MENDES, L.M.; MORI, A.F.; SILVA, J.R.M. Deformação residual longitudinal e propriedades da madeira em clones de *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 2004.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood.** Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

WATAI, L.T. Substituição de espécies de madeiras nativas por madeiras de reflorestamento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1990. v.1, p.131-133.

XAVIER, K.G. **Divergência genética em clones de *Eucalyptus* avaliada por marcadores RAPD, e variações nas propriedades da madeira.** 2001. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.